HAL
open science

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

Ilyasse Belkacem

To cite this version:

Ilyasse Belkacem. Étude de nouvelles techniques d'interaction en situation de mobilité avec des lunettes électroniques pour le domaine de la santé. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Lorraine, 2019. Français. NNT : 2019LORR0111 . tel-02397931

HAL Id: tel-02397931

https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02397931

Submitted on 6 Dec 2019

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

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

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

École doctorale IAEM Lorraine

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement le 20/05/2019
pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université de Lorraine

Mention Informatique

par

Ilyasse BELKACEM

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

Composition du jury

Rapporteurs:
M. Christophe KOLSKI, Professeur à l'université Polytechnique Hauts-de-France
Mme Laurence NIGAY, Professeur à l'université Grenoble Alpes
Examinateurs:
Mme Catherine PLAISANT, Directrice de recherche à l'université de Maryland
M. Eric LECOLINET, Maître de Conférences à Télécom Paris-Tech
M. Matthieu RAYNAL , Maître de Conférences à l'université de Toulouse
Directeur et Co-Directeur de Thèse:
M. Benoît MARTIN, Professeur à l'université de Lorraine
Mme Isabelle PECCI, Maître de Conférences à l'université de Lorraine

Laboratoire de Conception, Optimisation et Modélisation des Systèmes

Résumé

Les dispositifs mobiles tels que les smartphones, les montres connectées ou les lunettes électroniques ont révolutionné la façon dont nous interagissons. Les lunettes électroniques nous intéressent, car elles fournissent aux utilisateurs une vision simultanée des mondes physique et numérique. Cependant, l'interaction sur les lunettes électroniques n'est pas bien explorée. L'amélioration de l'interaction sur ce dispositif peut convaincre les utilisateurs à l'utiliser plus dans la vie quotidienne.

Le sujet de thèse est focalisé sur l'étude et le développement de nouvelles techniques d'interaction avec les lunettes électroniques. En effet, il n'est pas possible d'interagir aussi finement en mobilité ou en situation d'urgence par rapport à une situation stable telle qu'assis devant un bureau. Notre contexte de travail se situe dans le domaine de la santé et en particulier celui du personnel médical visitant un patient dans un hôpital. Le personnel médical doit pouvoir accéder aux données du patient déjà collectées, obtenir des données physiologiques en temps réel, préparer son diagnostic et communiquer avec ses collègues. Le verrou scientifique pour la thèse ici est de trouver des solutions qui permettent au personnel médical de réaliser ces tâches de façon plus précise et moins contraignante. Le but est de rendre plus efficace le diagnostic et le partage d'informations et de faire d'un dispositif encore non maîtrisé un outil fonctionnel en milieu professionnel de la santé.

Dans cette optique, les travaux de cette thèse présentent des contributions théoriques et applicatives. Nous avons tout d'abord répertorié les différents travaux effectués dans le cadre des lunettes électroniques pour le domaine de la santé, tout en indiquant le potentiel, les résultats pertinents et les limites. Nous nous sommes focalisés sur les lunettes électroniques pour afficher et manipuler les dossiers patients. D'un point de vue conceptuel, nous avons proposé un espace de conception à huit dimensions pour identifier les lacunes dans les systèmes existants et aider à la conception de nouveaux systèmes. D'un point de vue applicatif, en interaction en sortie, nous avons introduit une technique appelée K-Fisheye sur une interface à tuiles qui permet de parcourir un grand ensemble de données comme celui présent dans le dossier patient. Nous avons utilisé ensuite l'espace de conception pour porter un système existant sur les lunettes électroniques. Le prototype obtenu s'appelle mCAREglass. En interaction en entrée, nous avons exploré quatre techniques de pointage sur les lunettes électroniques avec la norme ISO 9241-411 pour sélectionner les techniques qui ne sont pas contraignantes pour naviguer dans le dossier patient. Ensuite, nous avons conçu une nouvelle technique d'entrée de texte appelé TEXTile qui permet de saisir du texte sur un tissu interactif communiquant avec les lunettes.

Mots-clés : Lunettes électroniques ; Santé ; Contexte ; Mobilité

Abstract

Mobile devices such as smartphones, smartwatches or smart glasses have revolutionized how we interact. We are interested in smart glasses because they have the advantage of providing a simultaneous view of both the physical and the digital worlds. However, the interaction for smart glasses is not well explored. More suitable interactions on this device can convince users to use it more in everyday life.

The thesis subject is focused on the study and development of new interaction techniques with smart glasses. Indeed, it is not possible to interact so finely in mobility or in an emergency situation compared to a stable situation such as sitting in front of a desktop. The work context is in the health field and in particular a healthcare professional visiting his patient in a hospital. The professional must be able to access the patient's data already collected, obtain physiological data in real time, prepare his diagnosis and communicate with his colleagues. The scientific problem for the thesis here is to find solutions that allow him to perform these tasks in a more precise and less restrictive way. The goal is to make the diagnosis and information sharing more effective and to make a device still uncontrolled a functional system in a professional healthcare environment.

In this perspective, the work of this thesis presents theoretical and applicative contributions. We first listed the various work performed in the context of smart glasses for the health field, while indicating potential, relevant results and limitations. We focused on smart glasses to visualize and manipulate patient records. From a conceptual point of view, we have proposed an eight-dimensional design space to identify gaps in existing systems and assist in the design of new systems. From an application point of view, for output interaction, we introduced a technique called K-Fisheye on a tile-based interface that allows the user to browse a large dataset like in the health record. We used the design space to adapt an existing system for the smart glasses. The prototype obtained called mCAREglass. For input interactions, we studied four pointing techniques on smart glasses. We used the ISO 9241-411 standard to select techniques easy to use for exploring the health record. Finally, we designed a new text entry technique called TEXTile by using a new interactive fabric communicating with glasses.

Keywords : Smart glasses ; Healthcare ; Context ; Mobility

Remerciements

***

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mes encadrants de thèse Isabelle Pecci et Benoît Martin de m'avoir donné la chance d'effectuer cette thèse et de m'avoir guider durant toute la thèse. Je les remercie tout d'abord sur un plan scientifique, car j'ai apprécié le travail avec eux, toujours impliqués, remettre en cause le travail, lire, relire... Sur un plan un peu plus personnel, je salue leur disponibilité et leur gentillesse.

Je remercie le professeur Anthony Faiola pour son aide et son accueil à l'université d'Illinois de Chicago.

Je remercie particulièrement Christophe Kolski et Laurence Nigay pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'être rapporteurs de cette thèse. Merci également aux membres du jury Catherine Plaisant, Eric Lecolinet et Matthieu Raynal qui ont accepté d'examiner mon travail et de participer à ma soutenance.

Je tiens ensuite à remercier tous les membres du laboratoire LCOMS d'avoir mis tous les moyens nécessaires à la réussite de cette thèse en m'accueillant dans le laboratoire et me permettant d'accomplir au mieux mon travail de thèse.

Je tiens à remercier aussi tous les enseignants qui m'ont suivi durant ma formation.

Merci à tous mes amis qui m'ont permis de m'évader lorsque c'était nécessaire.

Merci à toutes les personnes qui ont accepté de participer aux différentes expériences utilisateurs.

Pour finir, un GRAND MERCI chaleureux de tout mon cœur à mes parents, sans qui je ne serais absolument pas là où j'en suis aujourd'hui. C'est avec émotion qu'à mon tour je leur dévoile le fruit de mes efforts. J'espère être à la hauteur de leur fierté inconditionnelle. Je remercie également mes précieuses sœurs, mes formidables frères et toute ma famille pour avoir cru en moi et pour m'avoir soutenu tout au long de ces années. Je remercie plus particulièrement ma femme et mon fils. Ma femme pour m'avoir supporté et soutenu durant ces années de travail, malgré les soirées passées sur l'ordinateur à travailler. Sans elle à mes côtés, cette réalisation n'aurait pas de saveur. Et mon fils, arrivé au milieu de l'aventure, pour m'avoir sans cesse donné le sourire.

Table des matières

Résumé i
Abstract ii

Remerciements iii

Table des matières v

Table des figures ix

Liste des tableaux xii

Introduction générale 1
1 Problématique 1
2 Motivation et orientation 3
3 Questions de recherche 4
4 Contributions et démarche 5
5 Organisation de manuscrit 6
6 Contexte des recherches 7
7 Collaboration internationale 8

1 Les lunettes électroniques dans le domaine de la santé 11
1 Introduction 11
2 Les lunettes électroniques 12
2.1 Définition 12
2.2 Un bref historique 13
2.3 Caractéristiques fonctionnelles et exemples de produits 15
3 Méthodologie de recherche 19
4 Applications destinées aux professionnels de santé 19
4.1 Monitorage et visualisation d'informations médicales 21
4.2 Documentation 25
4.3 Télémentorat et téléconsultation 29
4.4 Education médicale 33
5 Applications destinées aux patients 37
5.1 Déficience visuelle 38
5.2 Déficience auditive 41
5.3 Déficience motrice 43
5.4 Déficience cognitive 45

5.5 Monitorage de l'état de santé 48
6 Conclusion et perspectives 49

2 Un espace de conception pour les interfaces des dossiers patient électroniques 51
1 Introduction 51
2 L'analyse d'applications de dossiers patient électroniques 52
2.1 Méthodologie 52
3 L'exploration de l'espace de conception 57
3.1 Utilisateur 57
3.2 Dossier patient 58
3.3 Technologie 60
3.4 Localisation 61
3.5 Temps 62
3.6 Objectif 62
3.7 Interaction en entrée 64
3.8 Visualisation 64
4 Justification conceptuelle 67
5 Utilisation de l'espace de conception 68
6 Discussion et limitations 70
7 Conclusion et perspectives 71

3 Visualisation de données médicales pour les soins intensifs 73
1 Introduction 73
2 Techniques de visualisation : un tour d'horizon 74
2.1 Techniques de présentation pour les grands espaces de données 74
2.2 La vue Fisheye 77
3 Notre approche : K-Fisheye 80
3.1 Reformulation de la fonction DOI de Furnas 80
3.2 Ontologie et modèle sémantique 80
3.3 Similarité sémantique 82
3.4 Interface à tuiles avec la vue K-Fisheye 83
4 Conception du système mCAREglass 84
4.1 L'environnement du service des soins intensifs 84
4.2 De MIVA à mCAREglass 88
5 Étude expérimentale de mCAREglass 92
5.1 Test d'utilisabilité 92
5.2 Interviews 93
5.3 Procédure 93
5.4 Participants 95
6 Résultats 95
6.1 Résultats quantitatifs 95
6.2 Résultats qualitatifs 96
7 Discussion 100
8 Conclusion et perspectives 100

4 Évaluation du pointage sur les lunettes électroniques 103
1 Introduction 103

2 Motivation : Contexte de santé . . . 104
3 Travaux connexes . . . 105
3.1 L'interaction avec le mouvement de la tête . . . 105
3.2 L'interaction avec la main libre . . . 106
4 Techniques de pointage . . . 107
4.1 Surface tactile (ST) . . . 107
4.2 Mouvements de la tête (MAT et MRT) . . . 108
4.3 Main Libre Absolue (MLA) . . . 110
5 Étude expérimentale . . . 111
5.1 Évaluation de la performance des techniques de pointage . . . 111
5.2 Tâche . . . 114
5.3 Matériel . . . 115
5.4 Participants . . . 116
5.5 Procédure . . . 117
5.6 Conception . . . 118
5.7 Données . . . 119
6 Résultats . . . 119
6.1 Débit, taux d'erreur et modèle de régression . . . 120
6.2 Latence . . . 122
6.3 Les mesures de précision de MacKenzie . . . 123
6.4 Retour des participants . . . 123
7 Discussion . . . 126
8 Conclusion et perspectives . . . 127

5 L'entrée de texte sur les lunettes électroniques 129
1 Introduction . . . 129
2 Motivation : Contexte de santé . . . 130
2.1 Scénario . . . 130
2.2 Justification de la conception . . . 131
3 Travaux connexes . . . 131
3.1 L'entrée de texte "eyes-free" . . . 132
3.2 L'entrée de texte sur les lunettes électroniques . . . 133
3.3 Dispositifs d'entrée de texte . . . 133
4 Description du prototype . . . 135
4.1 Dispositif matériel . . . 135
4.2 Logiciel de traitement . . . 136
5 Étude préliminaire : exploration des gestes . . . 136
5.1 Participants . . . 136
5.2 Tâche et procédure . . . 136
5.3 Résultats . . . 138
6 Étude expérimentale 1 : fiabilité du dispositif . . . 138
6.1 Participants . . . 138
6.2 Tâche . . . 139
6.3 Procédure . . . 139
6.4 Matériel . . . 139
6.5 Données collectées . . . 140

6.6 Résultats 140
7 TEXTile : notre technique d'entrée de texte 141
8 Étude expérimentale 2 : évaluation de la technique d'entrée de texte 144
8.1 Participants 144
8.2 Tâche 144
8.3 Procédure 144
8.4 Matériel 145
8.5 Données collectées 145
8.6 Résultats 145
9 Discussion 149
10 Conclusion et perspectives 149

Conclusion générale 151
1 Conclusion 151
2 Perspectives 153

A Instructions du test de mCAREglass 157

B Instructions du test de pointage 161

C Instructions du test de fiabilité 163

D Instructions du test d'entrée de texte 165

Bibliographie 167

Table des figures

0.1 Les 5 phases du hype cycle de Gartner. 2
0.2 Plan de manuscrit avec les différentes contributions. 6
0.3 Prototype de la plateforme eGlasses et Les lunettes EPSON BT300. . . . 8

1.1 Photomontage montrant l'historique des lunettes électroniques. 15
1.2 Exemples des lunettes électroniques. 18
1.3 Différents types de monitorage et de visualisation sur l'écran des lunettes électroniques. 25
1.4 La documentation enrichie par la photo et la vidéo. 29
1.5 Illustration de quelques travaux de télémentorat et téléconsultation. . . 33
1.6 Illustration des différentes utilisations des lunettes électroniques pour la formation médicale. 36
1.7 Différents types d'utilisation des lunettes électroniques pour les malvoyants. 40
1.8 Différents types d'assistance des déficients auditifs avec les lunettes électroniques. 42
1.9 Différentes applications des lunettes pour assister les déficiences motrices. 45
1.10 Quelques utilisations des lunettes électroniques pour les déficiences cognitives. 47
1.11 Quelques utilisations des lunettes électroniques pour le monitorage de l'état de santé. 49

2.1 Les dimensions de l'espace de conception pour les interfaces de dossiers patients. 53
2.2 La représentation QOC pour la sous-catégorie : usage. L'option encadrée est la décision prise. 67

3.1 Différents exemples de techniques de non-distorsion. 76
3.2 Les différentes techniques de distorsion. 77
3.3 Clavier Fisheye. 78
3.4 Différentes applications du Fisheye sémantique. 79
3.5 Modèle sémantique des informations médicales. 81
3.6 L'organisation de différents concepts de notre modèle sémantique dans l'ontologie LERUDI. 82
3.7 Prototype de l'interface à tuiles. 84

3.8 Figure illustrant les observations durant le flux de travail au service des soins intensifs. 86
3.9 L'interface principale de MIVA. 88
3.10 L'interface principale de mCAREglass. 89
3.11 L'utilisation de l'application mCAREglass au service des soins intensifs. 91
3.12 Illustration de l'interface à tuile. 92
3.13 Scénario 1 : avec ou sans lunettes. 94
3.14 Scénario 2 : avec ou sans lunettes. 94
3.15 Scénario 3 : avec ou sans lunettes. 94
3.16 La moyenne de la conception de l'interface et de l'apprentissage avec mCAREglass (plus la note est faible meilleure est la notation). 95
3.17 Score moyen de la NASA TLX (dans tous les cas, le score le plus bas est meilleur. Par exemple, pour les performances, le score le plus bas indique une performance parfaite). 96

4.1 Exemple de surface tactile sur les lunettes électroniques. 108
4.2 Illustration de Pitch et Yaw[264]. 108
4.3 Illustration de la rotation pour la technique MAT. 109
4.4 Mécanisme de calibrage pour la technique MRT. 110
4.5 Suivi de la main et positionnement du curseur sur l'écran des lunettes électroniques. 110
4.6 ISO 9241 - tâche de sélection multidirectionnelle avec l'ordre des cibles, le disque rouge représente la première cible. 112
4.7 Variation du chemin de pointage. 114
4.8 Capture d'écran de la tâche de pointage expérimentale avec les différentes conditions de séquence. 115
4.9 Le matériel utilisé dans l'expérience. 116
4.10 Configuration de la salle de test. 116
4.11 Capture d'écran du pré-test. 117
4.12 Débit par session pour les différentes techniques. 120
4.13 Taux d'erreur par session pour les différentes techniques. 120
4.14 Modèle de loi de Fitt pour les quatre techniques (session 2). 121
4.15 Taux d'erreur par largeur W de la cible (session 2). 122
4.16 Mesures de précision pour les quatre techniques. 123
4.17 Score SUS pour les quatre techniques. 124
4.18 La préférence des participants pour les quatre techniques. 124
4.19 Note moyenne pour les différentes questions de confort et d'effort pour les quatre techniques. Dans tous les cas, un score élevé est meilleur (par exemple, pour un effort physique et mental, un score élevé indique moins d'effort). 125

5.1 Le prototype basé sur 36 fils conducteurs parallèles cousus et connectés à trois cartes MPR121 et à l'Arduino Flora. 135
5.2 Illustration de la combinaison RELEASE_0110 : Lever l'index et l'auriculaire à partir de la position de départ 1111. 137
5.3 Score de chaque combinaison pour l'opération RELEASE. 138
5.4 Capture d'écran de la tâche. 139

5.5 Configuration de la salle de test. 140
5.6 Les deux actions à effectuer pour taper un caractère. 141
5.7 Clavier affiché sur les lunettes électroniques. 142
5.8 Illustration des gestes effectués et du retour visuel sur l'écran des lunettes pour écrire le mot : CLAP. 143
5.9 La deuxième vue numérique et caractères spéciaux. 144
5.10 Vitesse d'entrée de texte par session. 146
5.11 KSPC par session. 147
5.12 Erreurs corrigées par session. 147
5.13 Erreurs non corrigées par session. 147
5.14 Erreurs «soft». 148
5.15 Score moyen NASA-TLX de la technique TEXTile. 148

Liste des tableaux

1.1 Exemples des lunettes électroniques et leurs caractéristiques. 18
1.2 Type des tâches d'utilisation des lunettes électroniques pour les professionnels de santé. 20
1.3 Tâches pour l'utilisation des lunettes électroniques par les patients. . . . 37

2.1 Les différents exemples tirés de la littérature et d'interviews. 55
2.2 Tableau récapitulatif de l'espace de conception avec les sous-dimensions. 58
2.3 Tableau récapitulatif des choix de Paul parmi les valeurs de l'espace de conception. 70

3.1 Tableau récapitulatif des valeurs de l'espace de conception existantes sur MIVA et les valeurs intégrées dans le nouveau prototype mCAREglass. 90

4.1 Répartition des participants par âge. 117
4.2 L'ordre de différentes techniques pour chaque groupe. 118
4.3 Les équations de régression sont de la forme $MT = a + b \times ID_e$. 121
4.4 Moyennes et écarts types des mesures de précision pour chaque technique. 123

5.1 La distribution des participants par rapport à l'âge, le sexe, la latéralité et la situation. 137
5.2 Taux de reconnaissance des opérations. 140
5.3 Les opérations à effectuer pour sélectionner une ligne et une colonne sur la vue. 142

Introduction générale

***

Une interface utilisateur est comme une blague : si on doit l'expliquer c'est qu'elle n'est pas si bonne.

Martin Leblanc

Sommaire

1 Problématique 1
2 Motivation et orientation 3
3 Questions de recherche 4
4 Contributions et démarche 5
5 Organisation de manuscrit 6
6 Contexte des recherches 7
7 Collaboration internationale 8

1 Problématique

Ces dernières années ont vu émerger des périphériques dont les surfaces d'affichage réduites limitent l'accès aux informations. Pourtant, que ce soient les tablettes tactiles ou les smartphones, le nombre d'utilisateurs ne cesse de croître. Les utilisateurs sont connectés et veulent recevoir et partager des informations en temps réel. Ils peuvent agir ainsi de manière plus intelligente qu'en étant une personne isolée : c'est l'ère de l'intelligence collective [1]. La masse d'informations disponibles selon le contexte rend cet échange d'informations difficile. Du point de vue de l'Interaction Homme-Machine (IHM), le verrou scientifique est bien présent : les techniques d'interaction proposées en entrée (i.e. comment permettre à l'utilisateur de transmettre l'information ou spécifier des commandes) 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. Certaines recherches s'intéressent à ce problème de permettre à l'utilisateur d'interagir en se déplaçant. Ainsi, Brewster et al. [2] ont étudié des techniques d'interaction n'utilisant pas

la vue pour réduire le problème de l'attention visuelle. Ils ont montré qu'il était nécessaire de trouver de nouveaux paradigmes d'interaction alternatifs pour les périphériques vestimentaires (« wearables ») et mobiles.

De plus, la prise en compte du contexte dans la diffusion des informations peut avoir des conséquences sur les techniques d'interaction à utiliser. Par exemple, si l'on considère un médecin urgentiste en consultation dans un hôpital, il serait inopportun d'utiliser une modalité vocale pour lui transmettre une information sur le patient, car cela pourrait inquiéter inutilement le patient. Bien qu'il n'y ait pas de solutions normalisées, la technologie continue d'avancer. Maintenant, des périphériques connectés encore plus petits apparaissent : les montres, les lunettes, etc. Beaucoup d'entreprises comme Google, Microsoft, Oakley, etc., ont récemment proposé l'idée des lunettes électroniques incluant les capteurs classiques des smartphones avec des caméras et des affichages permettant la réalité augmentée. Bien que plusieurs lunettes dont les plus connues sont les Google Glass soient disponibles, 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, de prototypes d'application avec les Google Glass sont apparues, mais pour la plupart les techniques d'interaction proposées pourraient s'appliquer à un simple smartphone : affichage d'une information sur l'écran, saisie de données via la reconnaissance vocale, etc. Une des raisons pourrait être le fait que ces lunettes n'embarquent rien de plus que ce que l'on trouve sur un smartphone et limitent finalement l'innovation. De plus, leur faible autonomie ne permet pas une utilisation raisonnable. Comme au niveau technologique, on constate que des améliorations sont possibles, on peut espérer de nouveaux types d'applications.

À partir du 19 janvier 2015, Google a retiré du marché ses Google Glass, préférant attendre un nouveau modèle techniquement mieux conçu et répondant mieux aux attentes des utilisateurs. Toutefois, il serait prématuré de dire que ce type de technologie doit être abandonné si l'on considère le lancement de plusieurs lunettes électroniques sur le marché. Ce phénomène suit exactement l'évolution d'un produit technologique défini par le Hype cycle de Gartner [3](cf. Figure 0.1). Elles ont connu une attention au lancement mais nous sommes maintenant dans la phase de désillusion.

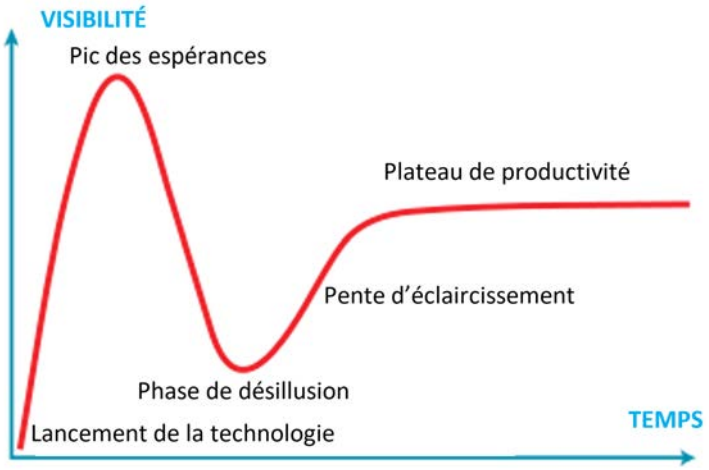


Figure 0.1 : Les 5 phases du hype cycle de Gartner.

Il est très probable que les lunettes électroniques soient toujours sur le marché dans le futur en suivant la pente d'éclaircissement mais il existe beaucoup de défis à surmonter. Les lunettes électroniques sont considérées comme un produit rudimentaire en raison de contraintes majeures d'interaction [4].

2 Motivation et orientation

Notre domaine d'application est le domaine de la santé et en particulier celui du médecin dans le service des soins intensifs. Le service des soins intensifs est un environnement de travail complexe où les patients sont fragiles et extrêmement vulnérables au changement de leur état de santé. En tant que tel, la sécurité des patients, l'amélioration de la qualité des soins et la réduction des erreurs et des éventuels dommages causés par les technologies de l'information de santé constituent une priorité pour le personnel clinique et les administrateurs d'hôpitaux. Dans le même temps, les professionnels de santé dans ce service sont soumis à des niveaux de stress élevés. Les facteurs humains qui contribuent au stress et à la tension mentale des médecins incluent [5] :

- Les contraintes de temps comme les longues heures de travail, tâches de nuit fréquentes et intensité de travail élevée.
- La gravité de la maladie du patient.
- La fatigue sous alarme i.e. la fatigue produite à cause d'une exposition à un grand nombre d'alarmes fréquentes.
- Des environnements de travail mal conçus et des interfaces complexes d'affichage des dossiers médicaux électroniques qui peuvent causer un épuisement professionnel [6].

De plus, le travail des médecins des soins intensifs doit tenir compte de responsabilités autres que celles liées aux soins directs aux patients. Il a été rapporté [7] que les médecins des soins intensifs consacraient une partie importante de leur temps à la saisie de données sur des ordinateurs, 38% de leur temps étant consacré à l'examen des données et de la documentation des patients. En revanche, le flux de travail clinique avec l'unité des soins intensifs ne comprend que 17% du temps, c'est-à-dire les soins directs aux patients.

Le verrou scientifique pour la thèse ici est de trouver des solutions qui permettent aux médecins de réaliser ces tâches de façon plus sûre, plus précise, plus confidentielle, moins contraignante en limitant les outils à utiliser. Le but est de rendre plus efficace : le diagnostic du médecin en l'assistant sans contrainte et le partage d'informations en utilisant des lunettes pour la transmission des informations.

À l'heure actuelle, il a été prouvé [8] que les applications conçues pour les tablettes et les smartphones améliorent l'efficacité des environnements de soins de santé cliniques, mais elles ont des limitations pratiques parce que ces périphériques mobiles ne sont pas toujours devant les yeux pour donner un accès instantané à

l'information et ne permettent pas l'interaction à mains libres. Les lunettes électroniques connectées sans fil constituent une plateforme relativement nouvelle pour le développement d'applications de santé. Les lunettes électroniques sont une technologie portable à mains libres qui peut être dirigée par des commandes vocales et fournir un affichage tête haute pour les données. Les lunettes électroniques ont été adoptées dans les soins de santé (principalement) pour une utilisation clinique et chirurgicale avec des résultats positifs [9]. Cependant, elles n'ont pas encore été utilisées dans un environnement de soins intensifs, bien qu'elles puissent avoir un impact considérable sur le flux de travail des personnels de santé.

Le sujet de cette thèse explore l'usage des lunettes électroniques dans le domaine de la santé. Les lunettes électroniques étant à leur stade de développement et d'adaptation, il reste beaucoup à explorer concernant les cas d'utilisation clés. Dans cette thèse, nous nous sommes concentrés sur le développement des techniques d'interaction sur les lunettes pour optimiser le flux de travail clinique de manière à permettre un accès rapide aux dossiers patients incluant les signes vitaux en temps réel.

L'étude de différents types d'interaction en entrée sur les lunettes électroniques pose le premier verrou : pouvoir désigner et saisir des informations. En particulier, il s'agit d'étudier les techniques de pointage et d'entrée de texte. La visualisation d'informations sur les lunettes pose un deuxième verrou quant aux techniques d'interaction en sortie pour filtrer et visualiser les informations nouvelles et surtout importantes pour le médecin. L'essentiel est de garantir une adaptation de l'Interaction Homme-Machine au contexte et notamment à la situation de mobilité.

3 Questions de recherche

Travailler dans le domaine des nouvelles technologies est toujours intéressant et stimulant pour les chercheurs pour explorer l'expérience utilisateur, l'interaction et le potentiel des produits ou services ce qui soulève plusieurs questions importantes.

L'étude des techniques d'interaction avec des lunettes électroniques dans un domaine critique comme le domaine de la santé est encore plus stimulant car il oblige à utiliser des techniques adéquates et bien conçues pour construire un lien direct avec l'utilisateur afin d'apporter des avantages dans son flux de travail. Compte tenu de la nouveauté des lunettes électroniques, l'idée est de poser des questions qui s'intéressent à des problèmes qui vont promouvoir leur utilisation et peuvent avoir un effet considérable sur l'adaptation de cette technologie à la vie quotidienne des professionnels de santé. Nous avons opté pour des questions sur le potentiel des lunettes électroniques dans le domaine de santé en général et dans les soins intensifs en particulier et des questions d'utilisation afin d'évaluer cette technologie. Ceci nous a conduit à chercher des réponses aux questions de recherche suivantes :

- **Potentiel :**
    - Quelles sont les avantages les plus communément perçus par les professionnels de santé et les chercheurs pour l'utilisation des lunettes dans le domaine de la santé ?

- Existe-t-il des applications qui ne sont pas déjà traités ?

- **Utilisation :**
  - Comment les informations doivent être présentées efficacement à l'utilisateur ?
  - Quelles techniques d'interaction seraient utiles pour l'utilisateur avec les lunettes électroniques ?

4 Contributions et démarche

Pour répondre à nos questions de recherche. Nous avons fait des travaux à la fois théoriques et applicatifs.

Nos contributions théoriques sont les suivantes :

1. Nous passons en revue les principales utilisations des lunettes électroniques dans le domaine de la santé, tout en indiquant le potentiel, les résultats pertinents et les limites. La catégorisation des différentes utilisations contribue à mettre l'accent sur les directions de recherche pour l'utilisation des lunettes dans le domaine de santé.

2. Nous proposons un espace de conception à huit dimensions afin de fournir un cadre pour analyser les applications de gestion des dossiers patients électroniques. D'une part, cet espace permet d'améliorer la visualisation des données et la conception d'interaction sur ce type d'applications. D'autre part, il nous permet d'analyser différentes applications existantes et d'en montrer les limites. Nous illustrons son utilité pour l'aide à la conception à travers un scénario de conception futuriste.

Nos contributions applicatives sont :

1. En interaction de sortie, nous proposons une interface sur les lunettes électroniques pour les professionnels de santé dans le service des soins intensifs qui vise à améliorer le flux de travail et réduire la charge cognitive ainsi que les erreurs de diagnostic. L'interface délivre des informations sur les signes vitaux en temps réel et des informations du dossier patient avec la technique de K-Fisheye (Fisheye sémantique) que nous avons développée. Cette technique d'interaction consiste à afficher des informations et à permettre à l'utilisateur une meilleure navigation avec moins d'effort, en particulier en situation de mobilité.

2. En interaction d'entrée, nous avons exploré quatre techniques de pointage sur les lunettes électroniques à travers des tests utilisateurs avec la norme ISO 9241-411. L'objectif était de sélectionner les techniques qui ne sont pas contraignantes pour naviguer dans le dossier patient d'une manière efficace et efficiente. Ensuite, nous avons conçu une nouvelle technique d'entrée de texte TEXTile qui permet de saisir du texte sur un tissu interactif communiquant avec les lunettes. Les utilisateurs effectuent des touchers multiples sur la surface du tissu.

5 Organisation de manuscrit

Le plan de cette thèse se structure en deux parties, le tout divisé en 5 chapitres (cf. Figure 0.2) :

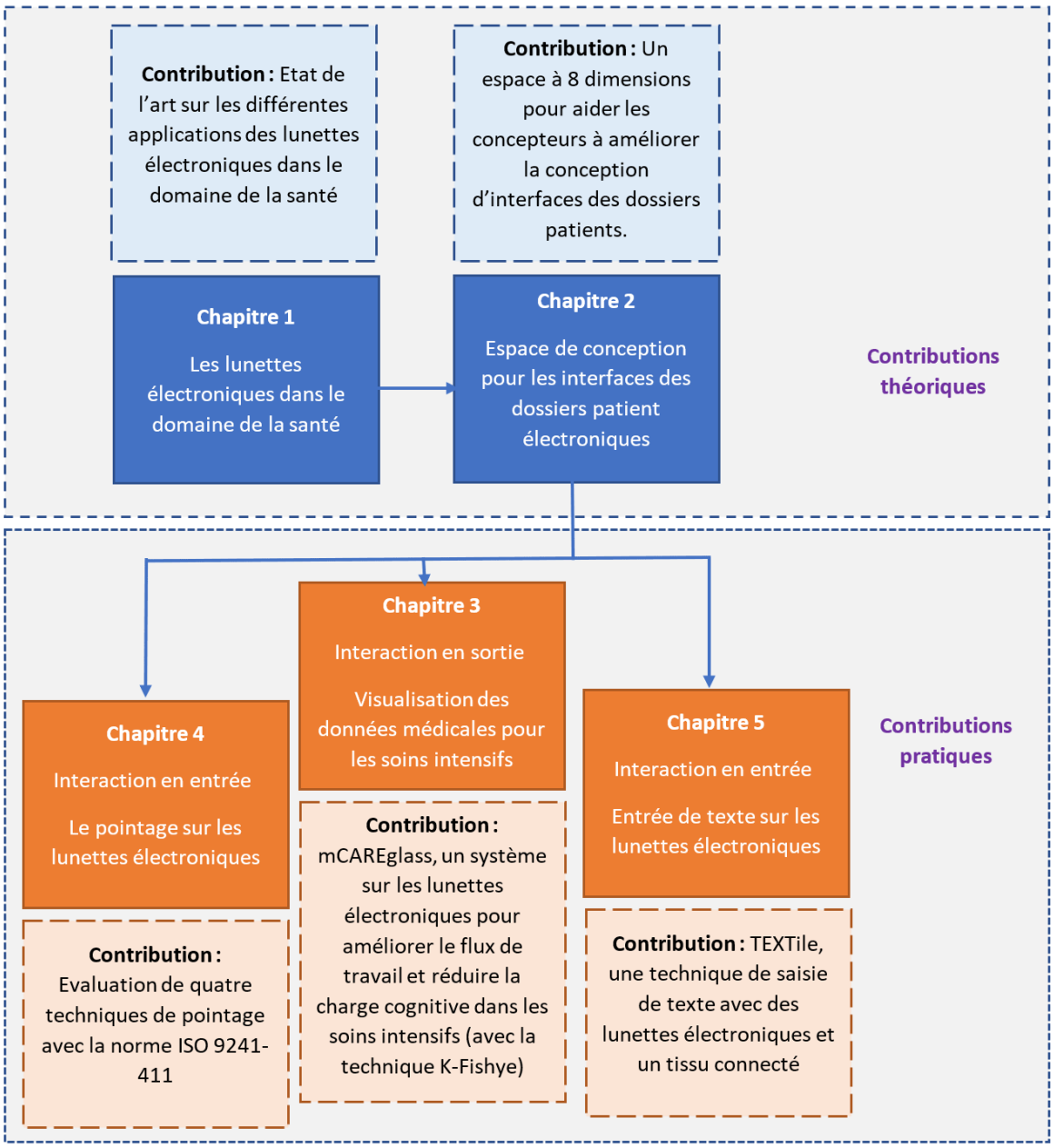


Figure 0.2 : Plan de manuscrit avec les différentes contributions.

- La première partie est théorique, nous analysons l'existant et nous fournissons un cadre pour la conception des interfaces de dossiers patients :
    - **Chapitre 1 :** ce chapitre est un état de l'art des applications et cas d'utilisation des lunettes électroniques dans le domaine de la santé. Le sujet est traité sous deux angles : le professionnel de santé et le patient.
    - **Chapitre 2 :** ce chapitre dresse un espace de conception à huit dimensions pour les interfaces des dossiers patients.

- La deuxième partie est pratique où nous exposons des techniques d'interaction en sortie et en entrée sur les lunettes électroniques utilisables dans le domaine de la santé.

  - **Chapitre 3 :** ce chapitre décrit le développement d'une interface mCAREglass sur les lunettes électroniques pour l'aide à la décision dans le service des soins intensifs.
  - **Chapitre 4 :** ce chapitre est consacré au pointage sur les lunettes électroniques. Quatre techniques sont évaluées : le mouvement absolu de la tête, le mouvement relatif de la tête, la main libre absolue et la surface tactile.
  - **Chapitre 5 :** ce chapitre explore l'interaction en entrée et plus précisément l'entrée de texte sur les lunettes électroniques. Une nouvelle technique TEXTile d'entrée de texte qui utilise un tissu connecté sur l'avant-bras.

Nous terminons par une conclusion générale pour rappeler les contributions de cette thèse et les travaux futurs. Dans les annexes A, B, C, D et E, nous détaillons les différents tests utilisateurs réalisés.

6 Contexte des recherches

Les travaux de cette thèse sont réalisés dans le Laboratoire LCOMS (Laboratoire de Conception, Optimisation et Modélisation des Systèmes) dans l'équipe ENOSIS sous la direction de Benoît Martin et Isabelle Pecci.

Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans le cadre du projet eGlasses (The interactive eyeglasses for mobile, perceptual computing) qui a démarré le 1er janvier 2014 et s'est terminé le 31 décembre 2016. La thèse a démarré en Avril 2016 et s'est poursuivie au-delà.

Le projet eGlasses est axé sur le développement d'une plate-forme ouverte sous forme de lunettes électroniques multisensorielles et sur l'intégration et la conception de nouvelles méthodes d'interaction intelligentes utilisant cette plateforme dans le domaine de la santé.

Le projet eGlasses est un projet européen qui a regroupé plusieurs partenaires :

- Partenaire 1 : Université de technologie de Gdansk (Pologne).
- Partenaire 2 : Université de sciences appliquées de Haute-Autriche (Autriche).
- Partenaire 3 : Université de sciences appliquées et d'Art (Suisse).
- **Partenaire 4 : Université de Lorraine (France).**
- Partenaire 5 : Université du Luxembourg (Luxembourg).

Le projet était divisé en plusieurs lots ; chaque partenaire est responsable d'un lot :

- Lot 1 : Gestion de projet (Partenaire 1)

- Lot 2 : Analyse des besoins et conception de la plateforme eGlasses (Partenaire 5)
- Lot 3 : Développement du cœur de la plateforme eGlasses (matériel et système d'exploitation) (Partenaire 1).
- Lot 4 : Développement d'extensions en entrée et en sortie pour la plateforme : module de suivi occulaire, microaffichage et radar de proximité (matériel et logiciel) (Partenaire 1).
- Lot 5 : Développement, implémentation et évaluation d'algorithmes de reconnaissance des gestes de l'utilisateur et des gestes de la personne observée (Partenaire 1).
- **Lot 6 : Développement et évaluation d'applications et des techniques d'interaction pour les professionnels de santé (Partenaire 4).**
- Lot 7 : Développement et évaluation d'applications pour les personnes handicapées (Partenaire 3).
- Lot 8 : Dissiminiation et exploitation (Partenaire 2).

Le sujet de thèse s'intégrait au lot 6.

Nous n'avons pas utilisé le prototype des lunettes électroniques eGlasses (cf. Figure 0.3.a) dans les expériences que nous avons menées car il n'était pas prêt pour réaliser des tests utilisateur fiables. Les lunettes utilisées pour tous les tests utilisateurs sont les lunettes commerciales ESPON BT300 (cf. Figure 0.3.b).

Figure 0.3 : Prototype de la plateforme eGlasses et Les lunettes EPSON BT300.

7 Collaboration internationale

Après la fin du projet eGlasses et dans le cadre de l'activité de recherche de la thèse, nous avons collaboré avec le laboratoire de sciences biomédicales et d'information de santé (Department of Biomedical and Health Information Science) de l'Université d'Illinois à Chicago. Ce laboratoire est spécialisé dans le domaine de la santé et des nouvelles technologies.

La collaboration a été menée avec le professeur Anthony Faiola, directeur du laboratoire et chercheur en sciences sociales et sociotechniques dont les recherches

se situent à l'intersection de l'informatique biomédicale / de la santé et de l'informatique centrée sur l'homme (IHM / Facteurs humains). Ses recherches visent à faire progresser les domaines de l'informatique clinique et de la santé grand public, grâce à l'utilisation de la santé mobile et le monitoring du patient.

Un travail sur place à Chicago de trois mois (Juillet 2018 - Septembre 2018) a été réalisé avec le professeur Faiola. Cette collaboration se poursuit depuis à distance. Durant cette période j'ai pu rencontrer des médecins pour réaliser des interviews et des tests utilisateurs avec des professionnels de santé dans l'hôpital. Neuf médecins volontaires de l'unité de soins intensifs de l'hôpital de l'Université de l'Illinois de Chicago ont participé à mes études. Le travail de cette collaboration est présenté dans le chapitre 3 dans le cadre du développement de l'application mCAREglass.

Chapitre 1

Les lunettes électroniques dans le domaine de la santé

***

Si j'avais une heure pour résoudre un problème, je passerais cinquante-cinq minutes à définir le problème et seulement cinq minutes à trouver la solution.
Albert Einstein

Sommaire

1 Introduction 11
2 Les lunettes électroniques 12
3 Méthodologie de recherche 19
4 Applications destinées aux professionnels de santé 19
5 Applications destinées aux patients 37
6 Conclusion et perspectives 49

1 Introduction

Au cours des dernières années, l'innovation technologique a aidé à améliorer la vie des personnes à travers le monde que ce soit auprès des professionnels ou des patients [10]. Les nouvelles technologies interviennent dans l'imagerie médicale [11], la gestion des dossiers patients électroniques [12], les systèmes de monitorage [13], les équipements de chirurgie [14] et même dans l'aide à la prise de décisions [15]. Elles permettent également de changer les expériences des professionnels de santé, des patients et même de leurs familles, de changer leur traitement, leur communication et leur apprentissage. L'intégration des progrès technologiques dans le domaine de la médecine représente une formidable opportunité pour rendre le traitement plus efficace et plus rapide.

De nos jours et d'une façon particulière, il y a eu une émergence de la technologie mobile allant des smartphones aux gadgets et objets connectés. Cette technologie est discrète et offre plusieurs fonctionnalités telles que la transmission de données sans fil et la mobilité. Le secteur de la santé en a aussi tiré profit en créant de nouvelles possibilités de soins avancés pour les patients. Ces avantages vont bien au-delà des professionnels de santé, les patients étant habilités à prendre le contrôle et à l'utiliser comme un outil pour surveiller leur santé et même aider les personnes avec handicap à améliorer leur qualité de vie.

La technologie ne cesse de repousser les limites de ce que nous croyons possible. Une innovation récente dans cette technologie mobile est l'apparition des lunettes électroniques. Elles sont portées comme une paire de lunettes mais avec de la technologie embarquée, y compris des composants électroniques et informatiques avancées (processeur intégré, écran d'affichage, capteurs, appareils photo, caméra, etc.). Les lunettes permettent de projeter les informations devant les yeux et interagir avec en donnant une vue simultanée des deux mondes physique et numérique. Elles offrent plusieurs fonctionnalités, des informations accessibles au moment voulu à l'endroit voulu, l'enregistrement, la transmission, la lecture des images et des vidéos, etc. Cela étend les possibilités d'utilisation en situation de mobilité.

Les lunettes électroniques ont attiré les professionnels de santé, même pour une utilisation dans un environnement très critique comme la salle d'opérations pour la chirurgie où la préservation de la main libre et stérile est essentielle. L'interaction peut être établie par des commandes vocales ou d'autres techniques d'interaction pour contacter un collègue ou pour prendre une photo et la charger dans le dossier patient électronique sans perturber la procédure en cours. D'autres applications potentielles ont été identifiées comme l'éducation médicale et le suivi en temps réel des données vitales des patients assurant une qualité et sécurité des patients. Plusieurs recherches se sont concentrées sur le patient pour développer des applications qui l'aident à surmonter une déficience (visuelle, auditive, motrice ou cognitive). D'autres applications lui permettent de surveiller son état de santé et son bien-être.

Le but de ce chapitre est de répertorier les différents travaux effectués avec des lunettes électroniques dans le domaine de santé et discuter des défis pour leur intégration dans le contexte médical.

2 Les lunettes électroniques

2.1 Définition

Dans leur étude, Rauschnabel et al. [16] définissent les lunettes électroniques comme étant : « *des ordinateurs vestimentaires dotés d'une connexion Internet mobile qui se portent comme des lunettes ou qui se montent sur des lunettes ordinaires pour afficher des informations dans le champ de vision de l'utilisateur. Une caméra, un microphone et un récepteur GPS capturent des informations provenant du monde physique. Un prisme placé devant l'œil droit de l'utilisateur affiche des informations virtuelles dans le champ de vision de l'utilisateur* ». Cette définition n'accentue pas le fait que les lunettes électroniques doivent permettre de voir à travers et ne pas obscurcir le monde réel

au contraire des casques de réalité virtuelle. Aussi, l'affichage n'est pas forcément devant l'œil droit. Il peut être monoculaire ou binoculaire.

Plusieurs travaux font référence aux lunettes électroniques comme des lunettes de réalité augmentée et fournissent la même définition [17]. Il faut souligner que les lunettes de réalité augmentée vont au-delà des lunettes électroniques mais elles sont capables de présenter les informations de telle sorte qu'elles aient l'impression d'être réellement dans la réalité et non seulement projetées devant les yeux sur un écran transparent. Cela peut être réalisé en utilisant les différents capteurs embarqués pour détecter le contexte autour du porteur des lunettes. Nous pouvons dire que la plupart des lunettes électroniques commercialisées peuvent servir comme des lunettes de réalité augmentée.

Pour le reste du travail nous fournissons et nous nous appuyons sur la définition suivante :

Les lunettes électroniques (définition)

Un ordinateur porté sur la tête qui offre un affichage devant les yeux (monoculaire ou binoculaire) et permet de voir à travers.

Nous excluons de cette définition quelques dispositifs commercialisés sous le nom des lunettes électroniques qui ne respectent pas un des critères mentionnés dans la définition. Nous pouvons citer l'exemple des lunettes de soleil avec un lecteur MP3 intégré. Par contre, d'autres produits sont appelés des casques de réalité augmentée, car ils ont un matériel embarqué plus complexe et sont donc plus grands mais ce sont des lunettes électroniques au sens de notre définition.

2.2 Un bref historique

Les lunettes électroniques ont certainement été popularisées après le lancement par Google de son produit GoogleGlass en 2012 mais le développement des lunettes électroniques a démarré il y a plusieurs décennies. En 1968, un chercheur de l'université de Utah Ivan Sutherland a introduit un système : «The Sword of Damocles» [18] (cf. Figure 1.1.a). Il s'agit du premier visiocasque, un écran monté sur la tête. En raison de la puissance de traitement limitée des ordinateurs à cette époque, l'appareil était primitif à la fois en termes d'interface utilisateur et de fonctionnalités. En raison de son poids, il a dû être suspendu au plafond.

Pendant les années 1970, Steve Mann, l'un des précurseurs de la technologie vestimentaire a construit son premier prototype d'ordinateur vestimentaire [19] (appelé WearComp) : des lunettes assistées par ordinateur, dont le dispositif informatique était placé dans un sac-à-dos (cf. Figure 1.1.b). La première version servait comme un assistant photographe informatisé. Le travail du Steve Mann a continué dans ce domaine et a démontré de nombreuses possibilités pour la technologie vestimentaire.

En 1989, la société Reflection Technology a développé un nouveau dispositif « Private Eye [20]» (cf. Figure 1.1.c). Un écran monochrome devant les yeux relié à un processeur alimenté par une batterie de moto et transporté dans un sac pour le rendre mobile. Private Eye a été utilisé avec le clavier Twiddler pour la saisie de

texte. Un autre pionnier de la technologie vestimentaire Thad Starner qui a beaucoup collaboré avec Steve Mann commence à porter son système « The Lizzy [21]» (cf. Figure 1.1.d) dans sa vie quotidienne vers 1993. Il consistait en un système personnalisé de « Private Eye » conçu pour être plus performant et robuste tout en ayant une consommation électrique faible pour fonctionner pendant 10 heures. Utiliser un ordinateur devant les yeux en situation de mobilité était une nouvelle avancée mais l'équipement était trop lourd et le moniteur couvrait un œil et l'empêchait de voir le monde réel.

En 1999, Steve Mann a conçu un autre dispositif « EyeTap » (cf. Figure 1.1.e) porté devant l'œil qui sert comme caméra pour enregistrer la scène devant les yeux, ainsi qu'un écran qui permet de visualiser des images informatisées sur la scène réelle sur son champ de vision. La particularité de ce prototype est que la scène réelle est projetée sur l'écran des lunettes avec des informations supplémentaires mais l'écran couvre toujours un œil. L'observation de la vidéo de la scène réelle sur un écran devant les yeux peut causer la nausée et l'instabilité [22].

La société MicroOptical fondé en 1995 par Mark Spitzer (devenu MyVu en 2007) spécialisée dans l'optique imagerie a conçu de nouvelles lunettes soutenues par le département américain de la défense (cf. Figure 1.1.f). En 1997, ils ont présenté les premiers verres avec des propriétés micro-optiques. D'autres modèles sont développés pour les militaires et pour l'industrie des jeux informatiques, mais en 2010 la société déclarée en faillite a vendu ses brevets à Foxconn. Mark Spitzer comme Thad Starner ont rejoint Google qui a pu récupérer plusieurs des brevets rachetés par Foxconn.

Il existe des produits comme « Poma » (cf. Figure 1.1.g) en 2002 développé par Hitachi en collaboration avec Xybernaut. Le PC portable comprend une unité d'affichage montée sur la tête qui permet à une personne de visualiser une image haute résolution, tandis que le reste de l'appareil est suffisamment petit pour le mettre dans une poche. Mais les utilisateurs ne se sentaient pas à l'aise en portant ce dispositif.

En 2012, Google lance les premières lunettes électroniques telles qu'elles sont connues maintenant (cf. Figure 1.1.h), équipées d'un ordinateur embarqué d'un écran transparent qui permet de voir à travers, d'un pavé tactile sur l'une des branches, d'une caméra intégrée, d'un réseau wifi et du Bluetooth. Les lunettes permettent d'accéder à différentes applications. L'interface de programmation fournie par Google a permis le développement d'applications dans différents domaines : médical, bâtiment et construction, logistique et entrepôts, fabrication complexe, etc. Le 15 janvier 2015, Google a annoncé la suspension de la production et des ventes de Google Glass. Ce retrait est justifié suite à quelques problèmes relevés [22] :

1. *Problèmes de santé et de sécurité :* la sécurité des Google Glass au quotidien était déjà un sujet de préoccupation à cause des radiations proches de la tête. En plus de cela, la caméra intégrée a également soulevé des problèmes de confidentialité et de piratage. Google Glass peut enregistrer des vidéos ou prendre une photo illégalement. Un smartphone peut faire la même chose et pourtant il est toujours utilisé.

2. *Esthétiquement peu attrayant :* le produit avait l'impression de se trouver encore au stade du prototype et ne ressemble pas à des lunettes de vue ordinaires.

3. *Peu de progrès pour sortir le produit de l'étape bêta :* les Google Glass ont très peu progressé deux ans après leur sortie.

4. *Pas de valeur ajoutée claire :* l'usage du Google Glass n'offrait aucun avantage évident aux consommateurs.

5. *Rapport qualité prix : « L'interface utilisateur était horrible, la connexion peu fiable et les informations fournies ont peu d'utilité pour moi. C'était les pires 1500$ que je n'ai jamais dépensé dans ma vie. En revanche, en tant que chercheur, c'était un excellent outil pour m'aider à comprendre ce qu'il ne fallait pas faire lors de la création d'un produit destiné au consommateur»* déclare Tim Bajarin, président de Creative Strategies Inc.

Malgré les difficultés, de nombreuses lunettes électroniques sont disponibles aujourd'hui sur le marché, nous allons les présenter avec leurs différentes fonctionnalités dans la section suivante.

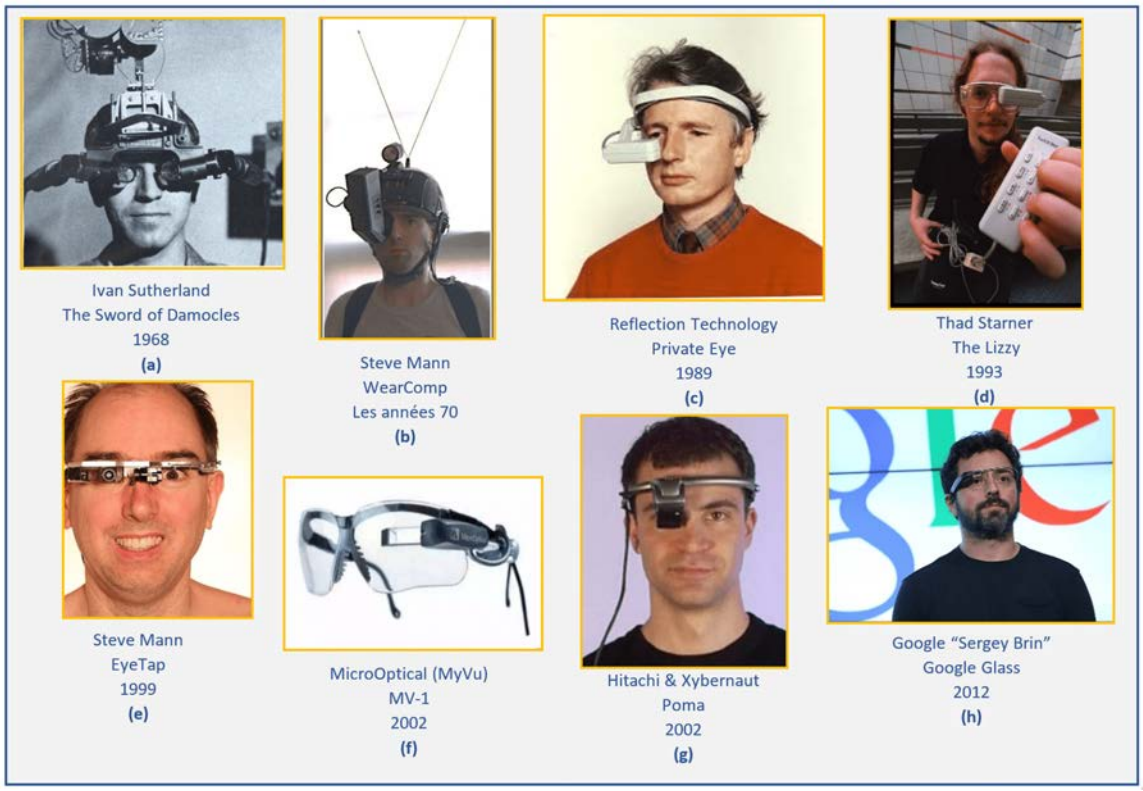


Figure 1.1 : Photomontage montrant l'historique des lunettes électroniques.

2.3 Caractéristiques fonctionnelles et exemples de produits

Comme tout autre dispositif, il n'existe pas un seul modèle mais il y a bien une variété avec différentes fonctionnalités et conceptions. Le développement technologique ne cesse de croître et les composants électroniques des lunettes électroniques sont de plus en plus performants.

La technologie des lunettes électroniques ressemble à la technologie des smartphones mais avec une différence majeure. Le dispositif est porté comme des lunettes par l'utilisateur avec un écran devant les yeux qui projette l'image générée

avec la possibilité de voir à travers contrairement aux smartphones où l'utilisateur regarde un écran particulier. Comme sur les smartphones, il est possible de développer sur les lunettes différentes applications.

Les lunettes électroniques fournissent les caractéristiques d'un smartphone moderne dans une forme de lunettes qui permettent de plus une interaction à mains libres. Voici une liste des principales caractéristiques :

1. **Affichage :** les lunettes électroniques disposent d'un écran optique positionné devant un œil ou les deux yeux du porteur. Il permet de voir la réalité à travers cet écran tout en projetant l'image numérique sur son champ de vision. Il existe deux types d'écran : monoculaire et binoculaire. Les monoculaires affichent les informations à un œil tout en gardant l'autre œil concentré sur la réalité mais les binoculaires affichent l'image numérique en face de chaque œil.

2. **Connectivité :** les lunettes électroniques sont équipées d'une antenne Wi-Fi, qui permet de se connecter à internet sans fil. Elles possèdent également une antenne Bluetooth, qui permet de les relier à d'autre dispositifs ou objets connectés (écouteurs, dispositif d'entrée de texte ou de pointage, etc.). Un micro-USB est disponible pour recharger l'appareil, se connecter à un PC pour transférer des données ou même brancher des dispositifs d'entrée.

3. **Contrôleur :** des boutons et une surface tactile peuvent être disponibles sur les lunettes. Ils peuvent être sur les branches des lunettes ou sur un contrôleur externe porté dans la main. Le contrôleur sert comme un pavé tactile d'un ordinateur portable. Il permet de naviguer sur l'écran en contrôlant un curseur sur l'interface ou exécuter des actions en effectuant différents gestes (appui et glissement des différentes combinaisons de doigts, etc.)

4. **Caméra :** la plupart des lunettes électroniques sont équipées d'une ou plusieurs caméras RGB. Par une simple interaction, l'utilisateur peut prendre une photo ou filmer une vidéo sans interrompre ce qu'il fait. Le contenu est pris selon le point de vue du porteur et peut être stocké dans la mémoire ou partagé en temps réel avec d'autres personnes. Il existe d'autres types de caméras sur les lunettes comme la caméra thermique ou la caméra de profondeur.

5. **Microphone :** le microphone sert à capturer le son de l'environnement du porteur. Il permet de capturer le son d'un enregistrement vidéo ou seulement audio. Il capture aussi la voix pour une analyse et une reconnaissance vocale. La parole reconnue est utilisée comme des commandes afin d'interagir avec les lunettes en entrée en éliminant la nécessité d'utiliser les mains pour interagir.

6. **Capteurs :** plusieurs capteurs sont de plus en plus intégrés dans les lunettes :

   - **Accéléromètre :** il mesure l'accélération. Il est utilisé pour mesurer les pas du porteur et comprendre son activité comme marcher, courir, conduire, etc. Cette analyse permet à certaines applications de proposer une expérience utilisateur bien adaptée à la situation.

- **Gyroscope :** il aide à comprendre l'orientation de la tête du porteur. La rotation de la tête dans les différentes directions peut être utilisée pour interagir avec le dispositif.
- **Magnétomètre :** il complète les capteurs chargés de calculer la position de l'utilisateur dans l'espace physique. Il mesure le champ magnétique et indique la direction vers le nord. Il est utile pour la navigation avec une carte.
- **GPS :** un capteur qui reçoit l'information d'un satellite situé dans l'espace de géolocalisation de l'utilisateur. Il est utilisé par plusieurs application basée sur la géolocalisation.
- **Baromètre et capteur de température ambiante :** ces capteurs sont utiles pour la détection des changements météorologiques.
- **Capteur de lumière :** il mesure la lumière de l'environnement du porteur et permet d'ajuster la luminosité de l'écran en conséquence.
- **Oculomètre :** il permet de mesurer les mouvements des yeux. Un des intérêts majeurs de suivre ces mouvements est d'interagir et naviguer sur l'interface des lunettes.

Le tableau 1.1 montre les caractéristiques de plusieurs lunettes électroniques disponibles (cf. Figure 1.2).

Les lunettes électroniques sont passées d'un casque lourd suspendu au plafond à une technologie vestimentaire qui devient de plus en plus développée. Les dix lunettes présentées sont équipées de caméra RGB, de microphones, GPS, WIFI, Bluetooth, d'accéléromètres, de gyroscopes et de magnétomètres. Certaines lunettes sont monoculaires (Google glass, Vuzix m-100, Optivent ORA-2, RECON JET, eGlasses). Elles sont légères contrairement aux lunettes binoculaires (Epson Moverio BT-300, SONY SmartEyeGlass, Vuzix Blade, Microsoft Hololens, Meta) mais avec moins de qualité de perception et d'immersion. La plupart des lunettes disposent d'un contrôleur (externe ou interne) qui fournit des boutons et une surface tactile pour interagir avec l'interface des lunettes électroniques sauf Microsoft Hololens et META qui n'utilisent que l'interaction gestuelle capturée par la caméra de profondeur pour Microsoft Hololens et la caméra thermique pour META. L'oculomètre n'est disponible que dans le prototype de notre projet eGlasses. Aucun produit commercial ne le prend en charge malgré l'intérêt de quelques travaux sur le suivi des yeux pour les visocasques [33–35].

Tableau 1.1 : Exemples des lunettes électroniques et leurs caractéristiques.

	Affichage		Connectivité			Contrôleur		Caméra			Microphone	Capteurs						
	Monoculaire	Binoculaire	Wi-Fi	Bluetooth	Micro-USB	Interne	Externe	RGB	Thermique	Profondeur		Accéléromètre	Gyroscope	Magnétomètre	GPS	Baromètre / Temp	Capteur de lumière	Oculomètre
(1) Google glass [23]	x		x	x	x	x		x			x	x	x	x	x		x	
(2) Espon Moverio BT300 [24]		x	x	x	x		x	x			x	x	x	x	x		x	
(3) SONY SmartEye-Glass [25]		x	x	x	x		x	x			x	x	x	x	x		x	
(4) Vuzix Blade [26]		x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x		x	
(5) Vuzix M-100 [27]	x		x	x	x	x		x			x	x	x	x	x		x	
(6) Optivent ORA-2 [28]	x		x	x	x	x		x			x	x	x	x	x		x	
(7) Micro-soft Holo-lens [29]		x	x	x	x			x		x	x	x	x	x	x		x	
(8) META [30]		x	x	x	x			x	x		x	x	x	x	x			
(9) RECON JET [31]	x		x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x	x	
(10) eGlasses [32]	x		x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x			x

Figure 1.2 : Exemples des lunettes électroniques.

3 Méthodologie de recherche

Une revue systématique a été réalisée pour capturer la littérature pertinente de différentes applications des lunettes dans le domaine de santé conformément à la méthode PRISMA[1] [36] comme norme de qualité pour notre travail. Nous avons cherché à répondre à deux questions :

- Quels sont les cas d'utilisation des lunettes électroniques dans le domaine de santé pour les professionnels de santé et pour les patients ?
- Quels sont les résultats obtenus lors de leur utilisation ?

En répondant à ces questions, nous allons contribuer à la compréhension du contexte général d'usage et de l'application future des lunettes électroniques dans le domaine de la santé. Des mots clés généraux et spécifiques ont été utilisés pour assurer une recherche documentaire complète : *Smart glasses, augmented reality glasses, Google glass, HMD, Head mounted display, AR glasses, healthcare, heath, professionnals, patient, assistance, surgery, medical education, electronic health record, documentation, monitoring, clinical, telemedecine, telemonitoring, impairment, visual, auditory, motor, cognitive*.

La recherche d'articles a été effectuée dans les bases de données suivantes : PubMed, ACM, IEEE Xplore. Cela a été complété par la recherche de citations de ces articles dans « google scholar ». Des listes de références d'articles pertinents ont également été passées en revue pour trouver des articles supplémentaires. Les articles ont été publiés entre 2013 et 2018.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : (1) description d'un scénario d'utilisation des lunettes électroniques dans le domaine de la santé (2) étude de l'utilisation des lunettes électroniques dans un contexte médical clinique ou chirurgical avec différents degrés de maturité (acceptabilité, faisabilité, étude pilote, expérience randomisée) (3) étude de l'utilisation des lunettes électroniques pour les non-professionnels pour suivre leur état de santé ou les aider pour surmonter un problème de santé. Pour capturer des travaux pertinents, nous avons exclu tout article (1) qui décrit une application déjà présente dans la littérature sans résultat ou (2) une utilisation d'une technologie qui ne rentre pas dans notre définition des lunettes électroniques comme les casques de réalité virtuelle.

Au total, nous avons identifié 101 articles dans notre travail qui satisfont les critères d'inclusion et d'exclusion. Sur la base de nos objectifs, les articles ont été organisés en différents groupes et seront présentés dans la suite. Les différentes références par groupe sont rapportées dans le tableau 1.2 (section 4) et le tableau 1.3 (section 5).

4 Applications destinées aux professionnels de santé

Les professionnels de santé se sont montrés intéressés par les avantages des lunettes électroniques dès leur lancement. Plusieurs travaux sont présents dans de nombreuses spécialités.

[1]Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses : http ://www.prisma-statement.org/

Tableau 1.2 : Type des tâches d'utilisation des lunettes électroniques pour les professionnels de santé.

Types de tâches	Tâches
Monitorage et visualisation d'informations médicales	• Voir des signes vitaux [37–42]. • Pratiquer la navigation chirurgicale [43–48]. • Avoir des informations pour l'aide à la décision [49]. • Superposer des informations à la réalité [50].
Documentation	• Enrichir la documentation par images [51–60]. • Enrichir la documentation par vidéos [61–65].
Télémentorat et téléconsultation	• Suivre les étudiants et les internes [66–72]. • Recevoir une assistance d'un expert [73–76]. • Gérer les incidents et les catastrophes [77–80].
Education médicale	• Transmettre une consultation ou d'une procédure [81–85]. • Enregistrer la consultation de l'étudiant pour une auto-évaluation ultérieure [86–89]. • Afficher une aide pour accomplir leur tâche [90–94].

4.1 Monitorage et visualisation d'informations médicales

L'avantage des lunettes électroniques est d'afficher l'information dans le champ de vision du porteur. Le professionnel de santé n'a pas besoin de tourner la tête à chaque fois pour regarder un écran et peut se concentrer sur son patient. Aussi, il peut être dans n'importe quel endroit de l'hôpital en train d'exercer d'autres activités tout en surveillant l'état de santé de son patient.

4.1.1 Monitorage des signes vitaux

Vorraber et al. [37] ont réalisé une étude exploratoire pour étudier l'utilité et l'efficacité des lunettes électroniques durant une intervention chirurgicale (cf. Figure 1.3.a). Les auteurs ont réalisé une simulation d'un scénario d'une intervention radiologique (angioplastie transluminale percutanée). Ce scénario nécessite une analyse fréquente de plusieurs paramètres. La solution implémentée projette les signes vitaux du patient (saturation en oxygène, fréquence cardiaque, pression artérielle et fréquence respiratoire) sur l'écran des lunettes portées par le chirurgien. Après utilisation, les intervenants ont déclaré que les lunettes électroniques amélioraient la concentration sur la tâche à accomplir en réduisant les mouvements de la tête et du cou (ce qui serait nécessaire pour visualiser plusieurs moniteurs distants).

Afin de tester la performance des professionnels de santé lors de la visualisation des signes vitaux, une étude préliminaire a été menée par Schaer et al. [38]. Ils ont développé une application pour afficher l'électrocardiogramme (ECG) et le rythme cardiaque sur l'écran des lunettes pour éviter de les afficher sur un écran en dehors du champ de vision. Sept internes ont participé à cette étude en comparant la lecture des 6 ECG sur l'écran des lunettes et sur l'écran d'un ordinateur portable. Les résultats montrent que les deux configurations ont permis de bien lire les différents ECG présentés. Cela montre que les professionnels de santé peuvent bénéficier des avantages des lunettes comme la mobilité, mais pas au détriment de la qualité des informations interprétées.

D'autres résultats sur la faisabilité et l'utilité de la projection des signes vitaux sur les lunettes durant les procédures chirurgicales ont été établies par Liebert et al [39]. 14 médecins résidents répartis entre deux groupes ont participé à une étude d'une intervention simulée qui compare l'utilisation des lunettes par rapport à un moniteur ordinaire pour afficher les signes vitaux. Les résultats montrent que le groupe qui a utilisé les lunettes a passé moins de temps à regarder le moniteur (ex. 90% moins durant une thoracotomie et 71% moins de temps durant une bronchoscopie) et a mis moins de temps pour détecter des problèmes (ex. la détection d'une désaturation était 8.8 secondes plus rapide et la détection de l'hypertension était 10 secondes plus rapide). En plus, la majorité des participants déclarent que les lunettes électroniques améliorent la conscience de la situation (64%), facilitent la surveillance des signes vitaux (86%), sont faciles à utiliser (93%) et peuvent améliorer la qualité des soins délivrés aux patients (85%).

Une autre étude par Iqbal et al. [40] étudie si les lunettes sont efficaces en tant que moniteur des signes vitaux dans un environnement de chirurgie en urologie pour maintenir l'attention sur la procédure sans entraver la vue des chirurgiens. L'étude menée compare le temps de réaction des participants par rapport à des

signes vitaux anormaux dans un environnement de chirurgie simulé. 37 professionnels de santé ont participé à l'étude (dont 24 novices, 8 intermédiaires et 5 experts). Les résultats montrent que 84% des participants ont réagi rapidement avec les lunettes électroniques par rapport à un moniteur standard et 81% ont déclaré que les lunettes électroniques étaient confortables pour eux. Le temps de réponse moyen aux signes vitaux anormaux avec un moniteur de signes vitaux standard était de 51,5 s par rapport 35,5 s avec des lunettes électroniques.

Pour les anesthésistes, les signes vitaux sont accessibles sur les lunettes électroniques à travers AnaeVis, une application développée par Drake-Braukman et al. [41] qui permet de visualiser et surveiller les signes vitaux dans un environnement d'anesthésie transmis sans fil depuis des postes de travail. L'étude réalisée vise à examiner l'acceptabilité des lunettes électroniques dans un contexte d'anesthésie pédiatrique. L'étude a été menée avec 40 anesthésistes et a montré que les lunettes électroniques sont bien acceptées pour la surveillance des patients : 90% trouvent que le dispositif est confortable, 82.5% trouvent que le dispositif ne distrait pas et 76% déclarent qu'ils utiliseraient à nouveau le dispositif.

Schlosser et al. [42] ont étendu l'affichage des signes vitaux sur l'écran de lunettes électroniques à plusieurs patients dans la salle d'opération pour surveiller les patients à distance. Les auteurs développent une application en mettant un accent sur la conception centrée utilisateur mais aucune évaluation n'a été réalisée.

Résumé

Les travaux [37–42] montrent que les lunettes électroniques sont acceptées par les professionnels de santé comme moniteur de signes vitaux. Elles sont faciles à utiliser [39], confortables [40, 41], ne distraient pas [41] et offrent plusieurs avantages dans différents contextes cliniques et chirurgicaux :

- Elles améliorent la concentration sur la tâche à réaliser [37].
- Elles réduisent les mouvements de la tête [37].
- Elles réduisent le temps de réaction en cas de problème [39, 40].
- Elles peuvent améliorer la qualité des soins délivrés au patient [39].

En utilisant les lunettes électroniques, les professionnels de santé ont pu fournir une interprétation correcte malgré la petite taille de l'affichage [38].
Ces travaux ont seulement affiché une interface qui ressemble à l'affichage d'un moniteur standard de signes vitaux sauf [42] qui a fait une conception centrée utilisateur pour afficher les signes vitaux de plusieurs patients sur la même interface.

4.1.2 Navigation chirurgicale

En plus des signes vitaux, les lunettes électroniques peuvent améliorer la navigation assistée par ordinateur qui est devenue un outil précieux pour guider le professionnel de santé à préciser ses actions afin de réussir sa procédure. Cette tâche divise l'attention entre l'affichage de navigation qui est souvent sur un écran

distant du patient et le patient lui-même. Stewart et al. [43] ont examiné si l'attention du chirurgien peut augmenter avec l'utilisation des lunettes électroniques en la comparant à un écran d'ordinateur dans une tâche chirurgicale simulée. Les résultats rapportent une amélioration de l'attention du chirurgien.

Wu et al [44], ont utilisé la capacité de projection des lunettes électroniques pour afficher sur son écran le moniteur de la machine à ultrason (cf. Figure 1.3.b.1). Les participants ont été répartis en deux groupes, un groupe a utilisé les lunettes électroniques comme un moniteur de la machine ultrason et un groupe avec le moniteur ordinaire d'une machine à ultrason pour effectuer une tâche (canulation de la veine jugulaire interne guidée par ultrasons). Les résultats montrent que les participants des deux groupes ont effectué les procédures sans difficulté mais les porteurs de lunettes ont mis plus de temps car ils n'étaient pas familiarisés avec la technologie. Par contre, 87% ont déclaré que les lunettes étaient confortables à utiliser pour le guidage par ultrason.

La visualisation de l'électromyogramme (EMG) avec les lunettes électroniques permet de voir exactement quels nerfs couper lors de la stimulation nerveuse sans perte de concentration. Golab et al. [45] proposent une preuve de concept pour améliorer l'efficacité durant l'intervention sur la colonne vertébrale de type rhizotomie dorsale sélective. L'application permet de visualiser l'électromyogramme sur les lunettes et d'interagir avec la surface tactile pour naviguer dans le temps. Les auteurs rapportent qu'ils ont fait des tests avec un chirurgien et l'application répondait aux besoins.

Profitant de l'écran des lunettes devant les yeux, Yoon et al. [46] ont étudié la possibilité d'utiliser des lunettes électroniques dans une intervention de la colonne vertébrale. Les lunettes électroniques affichent sur leur écran les images 3D de l'appareil de neuro-navigation transmises par réseau sans fil pour permettre au chirurgien de se concentrer sur le champ opératoire (cf. Figure 1.3.b.2). L'étude réalisée inclus des interventions de 10 patients afin de mesurer le temps qu'il a fallu pour placer les vis avec et sans lunettes. Les résultats ont montré que le temps de placement des vis était plus court lorsque les lunettes étaient utilisées pour la neuro-navigation (4,13 min avec lunettes par rapport à 4,86 min sans lunettes). En plus, 79% des réponses du questionnaire post-intervention sur l'expérience avec les lunettes étaient positives.

Chimenti et al. [47] ont utilisé les lunettes électroniques pour la visualisation d'images radioscopiques lors de la fixation de fractures de la main. Une étude compare le temps nécessaire en utilisant les lunettes et un moniteur traditionnel est réalisée. L'attention constante sur le champ de la procédure avec les lunettes électroniques a amélioré de façon significative le temps passé dans la procédure. La même approche est étudiée par Hiranaka et al. [48] (cf. Figure 1.3.b.3). Leurs résultats montrent que l'utilisation des lunettes a réduit de façon significative le temps d'exposition au rayonnement et le temps total d'insertion. Aussi, la précision de l'insertion de la broche a été significativement améliorée.

Résumé

Les travaux [43–48] ont montré que les lunettes électroniques sont bénéfiques comme un moniteur de navigation chirurgicale sans avoir besoin de détourner l'attention du champ opératoire. Elles améliorent l'attention du chirurgien [43], réduisent le temps de l'intervention [46–48] et améliorent la précision [48].

4.1.3 Autres types de visualisation

L'aide à la prise de décision est également explorée avec les lunettes électroniques pour les professionnels de santé. Pappachan et al. [49] ont développé Rafiki, un système qui déduit le diagnostic pour un patient en fonction de son état de santé, suggère des questions à poser au patient et les affiche sur l'écran des lunettes (cf. Figure 1.3.c). Les auteurs ont réalisé un prototype comme une preuve de concept mais aucune évaluation n'a été réalisée.

Une autre possibilité de visualisation avec les lunettes électroniques est de pouvoir superposer des informations à la réalité (i.e. la réalité augmentée). Une étude récente par Kuhlemann et al. [50] vise à résoudre un défi dans la chirurgie endovasculaire pour visualiser la position et l'orientation du cathéter inséré. Ceci est généralement réalisé par imagerie par rayons X ce qui expose le chirurgien au rayonnement. Les auteurs présentent une vue holographique 3D du système vasculaire superposé sur le corps du patient sans aucun besoin de rayonnement. Le système a été évalué sur un mannequin par des chirurgiens vasculaires, des radiologistes et des chirurgiens thoraciques qui lui ont donné une note moyenne de 17.5 sur 20 pour des questions sur l'intégration au flux de travail et sur la qualité de la visualisation (cf. Figure 1.3.d).

Résumé

En plus des signes vitaux et de la navigation chirurgicale, les lunettes peuvent fournir des informations d'aide à la décision en utilisant un système intelligent [49] ou superposer des informations à la réalité [50]. Ces deux travaux sont sous forme de preuves de concept mais ils présentent le potentiel d'utilisation pour les professionnels de santé. Cela pourrait aider les professionnels de santé à comprendre la meilleure façon d'administrer un nouveau traitement ou de leur montrer comment procéder selon une procédure donnée.

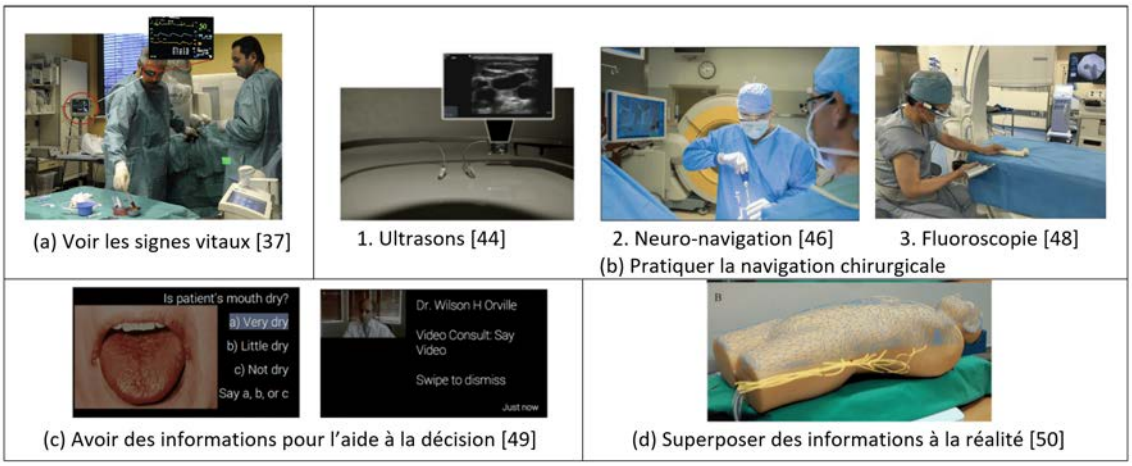


Figure 1.3 : Différents types de monitorage et de visualisation sur l'écran des lunettes électroniques.

4.2 Documentation

La documentation est un moyen de communication entre les différentes parties prenantes qui permet de donner des informations essentielles sur le diagnostic, le traitement et les résultats de chaque patient.

4.2.1 Documentation par photos

Widmer et al. [51] ont développé une application sur les lunettes électroniques qui permet de prendre une photo, l'annoter avec des mots clés et l'envoyer à un système qui recherche les photos similaires. Pour une preuve de concept, les auteurs ont testé trois cas, la récupération d'images à partir d'une image de peau, d'une image radiologique imprimée et d'une image affichée sur un moniteur. Le travail montre une possibilité de documentation et d'aide à la prise de décision en utilisant les lunettes en situation clinique d'une façon non-perturbante. Albrecht et al. [52] ont testé l'utilisation de l'appareil photo pour prendre des photos à mains libres au cours d'une autopsie de 4 patients réalisée par deux médecins. Ils l'ont comparé avec l'utilisation d'un appareil photo numérique à objectif unique (cf. Figure 1.4.a.1). Les résultats montrent que les lunettes étaient efficaces pour prendre les photos mais la qualité de la caméra embarquée sur les lunettes était inférieure à celle de l'appareil photo numérique.

Pour une meilleure gestion des soins des plaies, Aldaz et al. [53] ont développé SnapCap (cf. Figure 1.4.a.2), un système sur les lunettes électroniques qui permet de prendre des photos à mains libres, les annoter et les transférer vers le dossier patient électronique. Une étude pilote a été réalisée avec 16 infirmières et comparée à un système existant sur smartphone. Les résultats montrent que les infirmières ont apprécié la capacité de SnapCap à identifier les patients grâce à la lecture des codes-barres, la prise des photos et l'utilisation des commandes vocales pour annoter les blessures.

La prise des photos fait partie de la chirurgie mais sans utiliser les lunettes, les chirurgiens sont obligés d'interrompre leur travail et stériliser leurs mains après l'utilisation d'un appareil photo. Kantor et al. [54] ont réalisé une étude de faisabilité avec 120 patients pour prendre des photos durant les opérations chirurgicales

avec les lunettes électroniques pour documenter le dossier patient. Les auteurs n'ont pas rapporté plus de détails sur l'étude. Sinkin et al. [55] ont réalisé une étude avec 9 chirurgiens spécialistes et internes dans une salle d'opération de chirurgie plastique pour prendre des photos en utilisant des commandes vocales avec les lunettes électroniques. Les résultats montrent que les chirurgiens ont donné une bonne note (3,11 sur 5) pour prendre une photo en utilisant les commandes vocales. Une autre étude est réalisée par Mentler el al. [56] afin d'enrichir la documentation par photo à l'aide des lunettes électroniques. L'application développée utilise des gestes de la tête et des commandes vocales. Elle est testée au cours de 4 opérations par 2 chirurgiens. Les deux chirurgiens se sentaient à l'aise avec les lunettes, n'étaient pas distraits par les lunettes et étaient satisfaits pour la problématique d'hygiène. Par contre, ils ont rapporté des problèmes au niveau de l'interaction (quand la voix et le mouvement de la tête ne sont pas reconnus) et ont commenté la qualité limitée de l'appareil photo.

En plus de prendre des photos, la plateforme Rapid Diagnostics Tester (cf. Figure 1.4.a.3) développée par Feng el al. [57] permet de lire et mesurer les différents tests immunochromatographiques à flux latéral. L'application permet de prendre une photo du QR code libellé sur le dispositif de test, capturer l'image du test et les envoyer à un serveur qui fait le traitement automatique, insère les résultats dans le dossier patient et renvoie ces informations vers le client sur l'écran des lunettes. Une preuve de concept de cette plateforme a été développée avec succès avec deux tests VIH et PSA (Antigène Prostatique Spécifique).

Afin de tester l'efficacité des lunettes électroniques pour prendre des photos, Jeroudi et al. [58] ont comparé l'interprétation des professionnels de santé des EGC dans quatre configurations : (1) visualisation de l'image électrocardiographique sur l'écran de Google Glass, (2) l'affichage d'une photographie de l'ECG prise à l'aide de Google Glass et interprétée sur un smartphone, (3) visualisation de l'ECG en papier d'origine (4) et le visionnage d'une photo de l'ECG prise avec une caméra haute résolution et interprétée sur un Smartphone. Un point a été donné pour l'identification de chaque résultat correct. Le score moyen d'interprétation électrocardiographique (maximum 21 points) était (13.5, 16.1, 18.3, et 18.6 sur 21) respectivement pour les quatre configurations. Le résultat des lunettes était plus faible à cause de la qualité de l'appareil photo. 75% des participants étaient satisfait de la visualisation sur l'écran des lunettes. Stetler et al. [59] ont repris le même principe mais ils ont utilisé une application qui offre la fonctionnalité de zoom et de panorama à main libre lors de l'affichage des photos. L'étude évalue aussi l'interprétation des participants en utilisant le papier, le smartphone et les lunettes électronique. L'interprétation avec l'application sur les lunettes n'était pas inférieure à l'interprétation sur papier ou sur un téléphone portable et a satisfait les participants.

Une étude similaire sur la précision de l'interprétation de la radiographie pulmonaire sur les lunettes électroniques a été réalisée par Spaedy et al. [60]. L'étude a été réalisée avec 15 professionnels de santé pour interpréter 12 radiographies avec 23 points sur différentes configurations : (1) les images prises et visualisées sur les lunettes (2) les images prises sur les lunettes et visualisées sur un téléphone (3) les images de radiographie d'origine visualisées sur un PC de bureau. Les résultats d'interprétation étaient respectivement (14.1, 18.5 et 21.3 sur 23). L'interprétation

des images prises par les lunettes est moins précise ce qui implique des améliorations techniques avant l'utilisation de cette technologie.

Résumé

La documentation utilisant les photos est importante dans un environnement clinique comme les soins de plaies ou dans un environnement chirurgical où elle est réalisée par un assistant à l'aide d'un appareil photo ou un appareil photo intégré dans la lampe de la salle.
Les travaux présentés [51–60] montrent que les lunettes électroniques peuvent être utilisées pour prendre des photos d'une façon non perturbante. Aussi, la prise des photos durant les opérations chirurgicales avec les lunettes électroniques peut être bénéfique car elle est réalisée sans occuper les mains et aide à la stérilité de la salle d'opération [55]. La prise des photos peut être en mains libres avec des commandes vocales [55, 56] ou avec le mouvement de la tête [56]. La qualité de l'appareil photo des lunettes électroniques n'est pas suffisante ce qui peut impliquer une mauvaise interprétation [58–60]. Avec une fonction de zoom les résultats de l'interprétation se sont améliorés [59].
L'interaction en entrée pour prendre des photos n'est étudié que dans [55, 56] qui ont rapporté des difficultés lors de la détection de la voix ou du mouvement de la tête.
La plupart des travaux n'explorent pas la possibilité du traitement automatiques des photos prises sauf [51] pour chercher des photos similaires ou [57] pour mesurer des immunochromatographiques.

4.2.2 Documentation par vidéos

Les lunettes électroniques peuvent servir à enregistrer des vidéos afin de documenter le dossier patient pour une analyse ultérieure sans perturber le flux du travail. Spencer et al. [61] les ont utilisées pour enregistrer l'évaluation des voies respiratoires comme une preuve de concept pour démontrer le potentiel des lunettes électroniques. Kassuto et al. [62] trouvent que quand un arrêt cardiaque survient, les praticiens entourent rapidement le patient. Il est difficile d'enregistrer la vidéo d'une réanimation cardio-pulmonaire avec une caméra fixe (cf. Figure 1.4.b.1). Les auteurs réalisent une étude de faisabilité de l'enregistrement des réanimations cardio-pulmonaire avec les lunettes électroniques. Les résultats d'une simulation de 11 arrêts cardiaques montrent que la visualisation et la sonorisation sont jugées meilleures avec des lunettes électroniques qu'avec une caméra fixe (une note de 3,95 pour les lunettes par rapport à une note 3,15 pour la caméra fixe).

Duong et al. [63] ont utilisé les lunettes pour enregistrer une angiographie. Une étude est réalisée avec 10 professionnels de santé pour interpréter les vidéos qui contiennent 17 résultats sur différentes configurations : (1) les vidéos enregistrées sur les lunettes et visualisées sur un iPad ; (2) Les vidéos enregistrées sur les lunettes et visualisées sur un pc de bureau ; (3) les angiogrammes originaux visualisés sur ordinateur de bureau. La moyenne des résultats d'interprétations était respectivement (14.9, 15.2 et 15.9 sur 17). 60% des participants étaient satisfaits, 30% très satisfaits et 10% neutres à propos de la qualité d'enregistrement de la vidéo.

Borgmann et al. [64] ont étudié l'utilité des lunettes électroniques avec 7 chirurgiens en urologie pour enregistrer des vidéos durant 31 chirurgies urologiques de complexités différentes (cf. Figure 1.4.b.2). Les chirurgiens n'ont pas été distraits par l'utilisation des lunettes. L'utilité de l'application dans le domaine de l'urologie est jugée très élevée (3/7), élevée (2/7) modérée (1/7) et faible (1/7).

Etudier l'impact des vidéos prises par lunettes électroniques permet de promouvoir leur utilisation. Gupta et al. [65] ont montré à travers une étude l'impact des vidéos prises par les lunettes électroniques pour la gestion du patient dans le contexte de la consultation chirgurgicale. Les assistants médicaux ont capturé les aspects pertinents de l'examen physique et de l'imagerie à l'aide de l'enregistrement vidéo des lunettes. Cette vidéo est ensuite utilisée par les médecins pour la prise de décision. Cette prise de décision a été suivie d'un questionnaire sur l'impact de la vidéo. Les vidéos ont changé le plan de la gestion des patients dans 24% des cas et augmenté la confiance des médecins dans leur décision dans 41% des cas.

Résumé

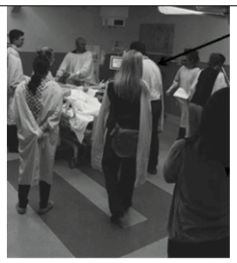
L'enregistrement des vidéos est important pour documenter le dossier patient dans un environnement clinique ou lors d'une intervention chirurgicale pour une analyse ultérieure. Les travaux [61–65] montrent la faisabilité et le potentiel des lunettes électroniques pour l'enregistrement. Les professionnels ont déclaré que les lunettes électroniques ne distraient pas [64], mais la vidéo n'est pas de haute résolution et peut causer une mauvaise interprétation [63]. La qualité d'enregistrement doit être améliorée pour une utilisation fiable. Les études réalisées utilisent des applications d'enregistrement préinstallées sur les lunettes mais aucune étude ne développe une application personnalisée. Aussi, aucune étude n'a porté sur la manière d'interagir avec les lunettes.

1. Montrer une situation d'autopsie. À gauche, le médecin légiste porte des lunettes éléctroniques, ce qui lui permet de prendre des photos en mode mains libres. A droite, la procédure est interrompue par un assistant qui prend une photo avec une caméra, ce qui réduit l'espace déjà limité autour du corps [52]

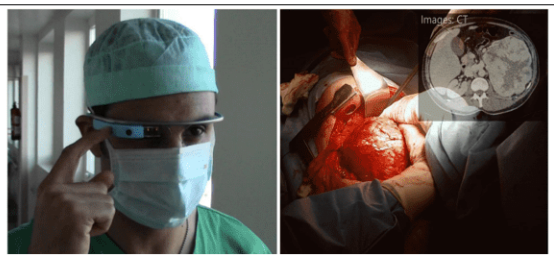
2. SnapCap [53]

3. Rapid Diagnostics Tester [57]

(a) La documentation enrichie par la photo



1. [62]



2. [64]

(b) La documentation enrichie par la vidéo

Figure 1.4 : La documentation enrichie par la photo et la vidéo.

4.3 Télémentorat et téléconsultation

Les lunettes électroniques permettent aux tuteurs de se tenir au courant des actions des personnes dont elles sont responsables. Elles peuvent aussi aider à une assistance à distance en temps réel par un expert pour effectuer une procédure surtout complexe. Ceci peut permettre d'améliorer la qualité des soins en s'assurant du soutien d'experts.

4.3.1 Suivi des étudiants et des internes

Un des premiers travaux sur les lunettes électroniques est celui de Vallurupali et al. [66] qui montrent le potentiel de l'utilisation des lunettes électroniques dans le télémentorat pour améliorer l'apprentissage en cardiologie. Les auteurs ont utilisé les lunettes électroniques dans l'exploration de quatre scénarios sur la pratique cardiovasculaire. Un spécialiste en cardiologie reçoit sur son smartphone le flux vidéo de ce que voit le résident qui porte des lunettes électroniques (cf. Figure 1.5.a). Ils discutent des différents résultats pour prescrire le traitement. Le travail

est une preuve de concept qui montre la faisabilité du télémentorat en simulant des scénarios mais il nécessite une évaluation.

Hamann et al. [67] ont présenté un autre cas d'utilisation, un étudiant en dermatologie utilise des lunettes électroniques pour mener une téléconsultation et une discussion avec le responsable de la chirurgie cervico-faciale devant effectuer une réparation du défaut dans un lieu loin de son tuteur. Le travail montre la preuve de concept mais aucune évaluation n'a été réalisée.

Les lunettes électroniques disposent d'un système embarqué avec plusieurs applications : appareil photo, appel audio et vidéo, etc. Russel et al. [68] ont réalisé une étude pilote de faisabilité du télémentorat pour fournir des instructions d'un expert en utilisant l'application Google Hangouts (une application de visioconférence préinstallée) pour l'échocardiographie. 18 participants ont été répartis en trois groupes pour obtenir les vues adéquates. Le premier groupe reçoit les instructions d'un expert en temps réel via l'application Google Hangouts sur les lunettes électroniques, le deuxième groupe reçoit les instructions du même expert présent dans la salle et le troisième groupe ne reçoit pas d'instructions. Les résultats montrent un taux de réussite à 100% pour les deux premiers groupes, par contre le troisième groupe n'a eu que 17% de taux de réussite.

Dans le même domaine de la chirurgie, Brewer et al. [69] ont réalisé une étude avec 11 internes qui reçoivent des instructions d'un chirurgien spécialiste pour placer des aiguilles durant une intervention simulée. L'interne et le spécialiste portent des lunettes électroniques. Le spécialiste reçoit en temps réel une vidéo du champ de vision de l'interne. Un score d'erreur a été calculé sur la base de la précision du placement de l'aiguille par rapport aux trajectoires prévues de l'aiguille, telles que décrites par le chirurgien spécialiste en plus du temps d'achèvement. Il n'y pas eu une différence significative entre le temps d'achèvement avec ou sans lunettes malgré le temps du mentorat. Cependant, la précision des internes était meilleure avec les lunettes électroniques.

Chai et al. [70] ont utilisé la capacité de transmission de vidéos des lunettes électroniques pour permettre aux spécialistes superviseurs de consulter une vidéo en temps réel des résultats d'examens physiques des patients par des internes en toxicologie et d'examiner leurs résultats. Les internes portent les lunettes durant leur consultation avec le patient. L'étude est réalisée pour 18 consultations. Les résultats montrent que les superviseurs ont eu confiance dans leur diagnostic à 56% (10/18) avant l'utilisation des lunettes et à 94% (17/18) après l'utilisation des lunettes. Ils ont rapporté aussi que les lunettes ont modifié la gestion du patient dans 56% (10/18) des cas. La même approche de téléconsultation est utilisée une deuxième fois par Chai et al. [71] pour faciliter l'accès aux spécialistes en dermatologie aux services d'urgences. 39 patients ont participé à l'étude. Les résultats montrent la faisabilité et l'acceptabilité du concept.

Afin d'évaluer la qualité de la vidéo fournie par les lunettes électroniques de type Google Glass pour l'utilisation au télémentorat, Hashimoto et al. [72] ont réalisé une étude pour comparer des vidéos enregistrées par les lunettes contre des vidéos enregistrées par un smartphone iPhone 5. 34 chirurgiens ont répondu au questionnaire. La majorité a estimé que la qualité vidéo des Google Glass était insuffisante pour le télémentorat en la comparant à celle d'un iPhone 5.

Résumé

Les travaux [66–71] montrent l'utilisation possible des lunettes dans le suivi des internes par leurs tuteurs. Fournir des instructions aux internes peut augmenter la précision mais pas au détriment du temps passé dans la procédure [69]. Les résultats de [68] montrent aussi qu'il n'y a pas eu une différence entre l'utilisation des lunettes pour recevoir des instructions ou de les recevoir d'un expert dans la même salle ce qui est bénéfique aux tuteurs. Aussi, les lunettes électroniques ont permis aux tuteurs d'avoir plus de confiance dans le travail des internes et ont même modifié la gestion du patient dans certains cas [70]. [72] soulève le fait que la technologie nécessite encore une amélioration de la qualité de la visioconférence pour l'appliquer au télémentorat.

4.3.2 Assistance d'un expert

La possibilité de fournir des soins médicaux à distance peut améliorer le flux de travail. Une des premières adoptions de lunettes électroniques pour la télémédecine en chirurgie est par Ponce et al. [73] (cf. Figure 1.5.b). Les auteurs ont décrit une étude de cas dans laquelle les lunettes électroniques ont été utilisées pendant une intervention pour permettre à un chirurgien de communiquer en temps réel avec un chirurgien distant. Bien que l'opération ait duré 45 minutes, plus que d'habitude si elle était effectuée par le chirurgien distant lui-même, l'étude montre la faisabilité et le potentiel en cas d'urgence ou quand le chirurgien est dans un endroit distant et ne peut pas se déplacer.

Un médecin local avec peu de connaissances neurologiques fait appel à un spécialiste pour l'aider à évaluer un patient dans le travail de Yuan et al. [74]. Le spécialiste reçoit en temps réel la vidéo sur un smartphone transmise par les lunettes portées par le médecin sur place avec le patient. Les auteurs ont réalisé avant une téléconsultation en utilisant un smartphone à la place des lunettes mais ils ont constaté que porter un smartphone était gênant lors de la téléconsultation. C'est pourquoi ils l'ont remplacé par des lunettes avec l'avantage des mains libres et la vue subjective.

Pour démontrer l'utilité du télémentorat dans un cas concret, Datta et al. [75] ont réalisé une étude réaliste. Deux généralistes du Paraguay et du Brésil ont été formés en visitant des formateurs experts internationaux pour une hernie inguinale de Lichtenstein. Après ils sont retournés dans leur pays pour effectuer ce type d'opération sur 10 patients qui vivent généralement dans des zones rurales et ont un accès plus limité aux services de soins de santé de base que la moyenne régionale (5 patients du Luque et 5 patients du Guarulhos). L'opération a été guidée par les experts en utilisant des lunettes électroniques portées par les médecins sur place. Les 10 patients ont été libérés le jour de l'opération sans complication. Malgré le bon déroulement des opérations réalisées, la variabilité de l'infrastructure notamment la stabilité de la connexion WIFI dans les zones rurales limite les possibilités d'usage.

Un travail collaboratif pour la récupération de quatre organes pour des transplantations a été réalisé par Baldwin et al. [76] en utilisant les lunettes électroniques

portées par un chirurgien sur place pour communiquer avec le reste des membres de l'équipe de transplantation située sur un autre site. La vidéo en direct de chaque procédure a été diffusée en toute sécurité pour permettre aux membres de participer à distance à l'évaluation des organes.

Résumé

Les lunettes électroniques peuvent être utilisées pour recevoir une assistance d'un expert afin d'accomplir une consultation ou une intervention chirurgicale [73–76]. Cela peut être bénéfique dans une situation d'urgence quand le chirurgien ne peut pas se déplacer [73] ou dans les régions rurales où ils n'ont pas accès à tous les types d'interventions [74, 75].

4.3.3 Gestion d'incidents et catastrophes

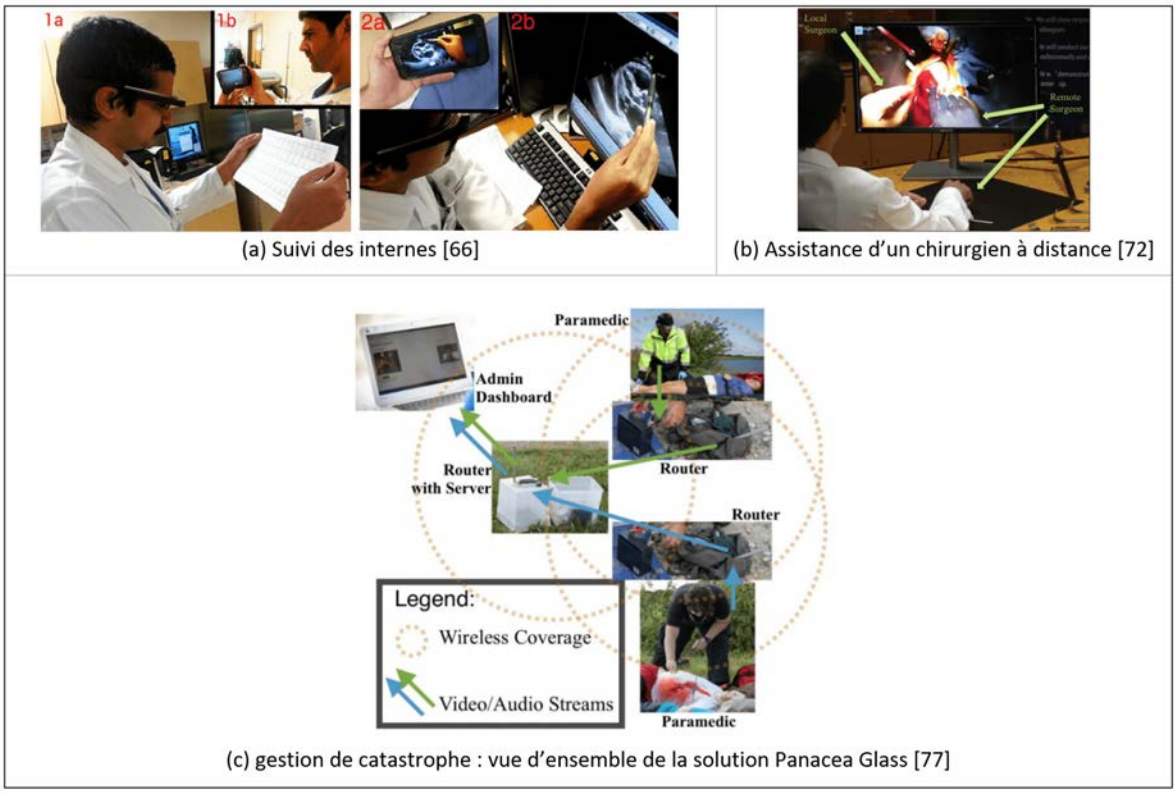
La télémentorat en utilisant les lunettes électroniques permet d'accroître l'efficacité des opérations d'urgence en dehors de l'hôpital ou en cas de catastrophe. Gillis et al. [77] ont développé une plateforme sur le cloud qui s'appelle Panacea's Glass. Les auteurs ont décrit l'architecture et le fonctionnement de leur prototype mais aucune évaluation n'a été réalisée (cf. Figure 1.5.c). De même, Schaer et al. [78] ont réalisé une étude pilote pour évaluer leur plateforme pour les soins préhospitaliers qui permet aux paramédicaux de communiquer avec les spécialistes pour les aider directement lors de leurs déplacements via une vidéoconférence avec les lunettes électroniques. Les résultats montrent que les médecins ont constaté que les lunettes apportent de la valeur ajoutée à la préparation de l'arrivée du patient à l'hôpital mais ajoute de la charge de travail aux paramédicaux car ils n'ont pas l'habitude de les utiliser.

Aussi pour la communication en cas de catastrophe, Cicero et al. [79] ont réalisé une étude de faisabilité dans laquelle une équipe d'intervention composée de deux ambulanciers paramédicaux a utilisé les lunettes électroniques pour communiquer avec un expert médical. Le médecin avait une interface audio-vidéo avec l'équipe paramédicale et pouvait observer les victimes à distance. L'étude réalisée compare deux équipes avec et sans utilisation de lunettes électroniques pour un triage lors d'une catastrophe simulée. Il n'y avait pas de différence significative de précision mais le tri avec les lunettes avait pris plus de temps. Les auteurs ont évoqué deux raisons : la nouvelle technologie inconnue par les utilisateurs et la technologie à améliorer car encore en phase de développement (le microphone qui enregistre un niveau élevé de bruit et ne reconnait pas toujours les commandes vocales et le contraste de l'écran, surtout à l'extérieur).

Une étude plus récente par Broach et al. [80] a étudié l'utilisabilité des lunettes électroniques au cours d'incidents impliquant plusieurs blessés pour la participation à distance des médecins aux soins en temps réel avant l'arrivée à l'hôpital. Les résultats montrent que les participants perçoivent positivement l'utilisation des lunettes électroniques. En plus, il n'y a pas eu de différence significative des résultats obtenus dans la prise de décision par les deux groupes (en personne contre les lunettes électroniques) lors du triage des blessés.

Résumé

Un autre potentiel des lunettes électroniques est la gestion des catastrophes [77–80]. Les lunettes peuvent être utilisées par le personnel paramédical sur place afin de communiquer avec les spécialistes dans l'hôpital. Les lunettes apportent de la valeur ajoutée à la préparation de l'arrivée des patients [78] et peuvent avoir un effet sur la prise de décision [80]. Quelques problèmes sont rapportés comme l'augmentation de la charge de travail [78] ou l'augmentation du temps [79] dues à la nouvelle technologie pour les utilisateurs et aux problèmes techniques rencontrés : le microphone qui enregistre un niveau élevé de bruit et ne reconnaît pas toujours les commandes vocales et le contraste de l'écran, surtout à l'extérieur.



(a) Suivi des internes [66]

(b) Assistance d'un chirurgien à distance [72]

(c) gestion de catastrophe : vue d'ensemble de la solution Panacea Glass [77]

Figure 1.5 : Illustration de quelques travaux de télémentorat et téléconsultation.

4.4 Education médicale

Plusieurs travaux de recherche se sont intéressés aux lunettes électroniques comme un nouvel outil pour améliorer la formation des futurs professionnels de santé.

4.4.1 Transmission de la vue du médecin enseignant

Une façon d'améliorer les compétences des étudiants durant la formation est d'enregistrer la rencontre avec le patient pour une analyse ultérieure afin d'améliorer la prise d'informations, les procédures et la communication avec le patient. Habituellement, les vidéos pédagogiques sont prises par une tierce personne. Cependant,

ces vidéos ne sont pas aussi réalistes que si elles venaient du médecin (vue subjective).

Iversen et al. [81] ont réalisé un prototype qui capture la vue de l'enseignant avec les lunettes et l'affiche sur un grand écran dans la salle de cours (cf. Figure 1.6.a). L'étude réalisée explore l'impact d'utilisation des lunettes dans une formation de l'examen vestibulaire. Les participants ont été répartis en deux groupes : un avec les lunettes et l'autre sans les lunettes. 77% des étudiants du groupe avec lunettes ont effectué l'évaluation de manière satisfaisante contre 59% avec l'autre groupe. Mais la majorité des étudiants du groupe des lunettes ont noté la mauvaise qualité de la vidéo. La transmission de la vidéo en direct est allée plus loin avec Nakhla et al. [82], qui ont réalisé une preuve de concept pour transmettre aux étudiants le déroulement d'une opération chirurgicale en temps réel et l'enregistrer pour une visualisation ultérieure en utilisant des lunettes électroniques portées par le chirurgien. Aucune évaluation n'a été réalisée (Figure 6.a). De même, Rahimy et al. [83] ont utilisé les lunettes pour enregistrer une opération chirurgicale en ophtalmologie. Les résultats montrent que la vidéo semblait assez détaillée pour les spectateurs qui n'étaient pas présents afin d'apprendre les étapes de la procédure.

Knight el al. [84] ont également utilisé les lunettes portées par les chirurgiens durant une opération pour la diffuser en temps réel à un autre chirurgien apprenant. Cette apprenant regardait la procédure sur son téléphone et a indiqué que c'était une bonne expérience pour lui. Le chirurgien n'a signalé aucune difficulté et les lunettes étaient discrètes.

Sahyouni et al. [85] ont enregistré la vidéo d'une opération en chirurgie neurologique. Les internes ont préparé le compte-rendu en examinant l'enregistrement opératoire des lunettes. Les résultats des questionnaires fournis aux internes rapportent que les lunettes ont amélioré de manière significative leur niveau de confort en neurochirurgie et la qualité de leur formation. Elles leur ont fourni un outil fiable, qui a amélioré leur compréhension, leur expertise et leur expérience éducative.

Résumé

Les lunettes électroniques peuvent servir de caméra avec leur capacité à filmer la scène avec la vue du médecin, l'enregistrer [83] ou la transmettre en temps réel [81, 82, 84] aux étudiants. Cela peut donner plus de réalisme qu'avec une caméra statique et la vue d'une tierce personne qui filme. L'enregistrement avec les lunettes a montré un impact positif durant le cours sur les connaissances des étudiants [81] et a amélioré leur niveau de confort [85].

4.4.2 Enregistrement de la consultation de l'étudiant

Au lieu de capturer ce que fait l'enseignant, Tully et al. [86] et Youm et al. [87] (cf. Figure 1.6.b) ont décidé de capturer ce que fait l'étudiant pour une auto-évaluation ultérieure. Les lunettes capturent le déroulement d'un examen clinique structuré entre un étudiant en médecine et un patient standardisé (des acteurs qui simulent les symptômes de patients réels et fournissent des réponses normalisées basées sur des scripts bien développés). Les étudiants portent des lunettes qui enregistrent

une vidéo d'une simulation de consultation du patient. Les étudiants analysent après les vidéos réalisées pour une auto-évaluation, ce qui leur permet de passer en revue leur performance et leurs interactions durant la consultation. Après le visionnage des vidéos, la majorité des étudiants ont estimé que les lunettes électroniques méritaient d'être incluses dans la formation. Le même principe avec les étudiants en médecine dentaire est utilisé par Zahl et al. [88] dans une simulation de consultation du patient (cf. Figure 1.6.b). L'étude réalisée compare l'enregistrement avec les lunettes électroniques à celui réalisé avec une caméra statique. Les étudiants ont trouvé que les lunettes sont plus efficaces qu'une caméra statique et sont un outil précieux pour faciliter l'auto-évaluation.

So et al. [89] ont utilisé la caméra des lunettes pour enregistrer les consultations entre les internes en ORL (oto-rhino-laryngologie) et leurs patients pour s'évaluer et avoir un retour pour s'améliorer. Les patients ont participé à une enquête pour noter leur satisfaction des consultations. Les résultats montrent une amélioration de la satisfaction des patients.

Résumé

Les lunettes électroniques ont le potentiel d'enregistrer les consultations effectuées par les étudiants en médecine pour s'auto-évaluer ultérieurement [86–89]. Les résultats montrent que les lunettes sont plus efficaces qu'une caméra statique [88] et les étudiants estiment que les lunettes méritent d'être incluses dans la formation [86, 87]. Une amélioration de la satisfaction des patients a été rapportée par [89].

4.4.3 Visualisation d'aide pour accomplir une tâche

Pour la formation à la chirurgie urologique, Dickey et al. [90] ont développé l'application ARAS (cf. Figure 1.6.c) qui montre les étapes de la procédure chirurgicale de pose d'une prothèse. En salle d'opération, les lunettes affichent le menu de l'application qui inclut une vidéo de positionnement pas à pas pour la procédure. L'utilisateur peut interagir avec des commandes vocales. 30 professeurs enseignants d'urologie et internes en urologie ont évalué le système sur une échelle de 1 à 10. Les notes pour l'utilité pédagogique, la facilité de navigation, la probabilité d'utilisation, la distraction en salle d'opération sont respectivement de 8.6, 7.6, 7.4 et 4.9. Cela montre la possibilité d'intégrer les lunettes électroniques dans la formation chirurgicale.

Pour un outil d'apprentissage de suture, Lia et al. [91] (cf. Figure 1.6.c) ont développé une application qui contient quatre vidéos. 32 étudiants en médecine ont participé à l'étude. Ils ont été répartis en deux groupes : un groupe qui utilise un ordinateur portable et l'autre qui utilise les lunettes. Le groupe de lunettes a trouvé les lunettes utilisables et réalistes plus que l'autre groupe de l'ordinateur portable mais il n'y avait aucune différence dans l'évaluation des compétences des deux groupes. De même, Peden et al. [92] (cf. Figure 1.6.c), ont réalisé le même type étude. 14 étudiants en médecine ont participé à l'étude. La capacité de suture après l'enseignement était similaire entre les groupes mais le groupe qui a utilisé les lunettes a rapporté un plus grand plaisir que ceux assistant à un enseignement conventionnel.

Les lunettes électroniques peuvent servir comme un outil de simulation. Chaballout et al. [93] ont étudié la faisabilité et l'acceptabilité de l'utilisation des lunettes électroniques dans des scénarios de simulation clinique avec des mannequins pour les étudiants en sciences médicales. Les lunettes affichent une vidéo d'un acteur simulant comment le mannequin (patient) réagit, lors des actions effectuées sur le mannequin. Le retour était positif de la part des étudiants pour voir le patient durant la simulation et ont recommandé de l'utiliser. Le même principe est repris par Vaughn et al. [94] avec des étudiants de l'école d'infirmières. Les participants à l'étude ont rapporté que l'usage des lunettes électroniques les a mis en confiance et a créé plus de réalisme que le mannequin seul ne peut fournir.

Résumé

Les lunettes peuvent fournir de l'aide aux étudiants pour accomplir des tâches sous forme de tutoriels [90–92] ou une vidéo de simulation qui montre comment le patient réagit à la suite d'une action effectuée par l'apprenant [93, 94]. Bien qu'il n'y ait pas eu de différence de compétence acquise via l'utilisation des lunettes et d'un ordinateur portable, les étudiants ont rapporté un plus grand plaisir avec les lunettes [92]. Lors de l'affichage de la simulation [93, 94], les étudiants ont indiqué que les lunettes ont créé plus de réalisme.

Figure 1.6 : Illustration des différentes utilisations des lunettes électroniques pour la formation médicale.

5 Applications destinées aux patients

Les patients peuvent aussi bénéficier de la technologie des lunettes électroniques. Plusieurs études mettent les lunettes électroniques au service du patient pour l'assister ou l'aider à surmonter un problème de santé (cf. Tableau 1.3).

Tableau 1.3 : Tâches pour l'utilisation des lunettes électroniques par les patients.

Types de tâches	Tâches
Déficience visuelle	• Reconnaître l'environnement et guider les personnes malvoyantes [95–99]. • Améliorer la vision [100–108].
Déficience auditive	• Transcrire la parole [109–111]. • Visualiser le langage des signes [112, 113]. • Évaluer la compréhension [114].
Déficience motrice	• Interagir avec l'environnement [115–117]. • Contrôler la marche [118, 119]. • Contrôler la voix [120, 121].
Déficience cognitive	• Aider à reconnaître l'environnement [122]. • Aider à la mémorisation [123]. • Aider à la communication [124–131].
Monitorage de l'état de santé	• Suivre les paramètres physiologiques [132, 133]. • Identifier les produits allergènes [134]. • Surveiller l'alimentation [135–137].

5.1 Déficience visuelle

L'avantage des lunettes pour les personnes déficientes visuelles repose sur sa caméra qui permet de capturer l'environnement et de l'analyser avec des algorithmes de traitement d'images pour essayer de décrire cet environnement avec un retour non visuel.

5.1.1 Reconnaissance de l'environnement et guidage

Une étude qualitative à travers des interviews a été menée par Sandnes et al. [95] qui vise à identifier les fonctionnalités dont les utilisateurs déficients visuels ont besoin dans divers contextes. Deux grandes lignes ont été identifiées : la reconnaissance des visages des personnes avec qui on interagit et la reconnaissance du texte sur les bâtiments et les véhicules en mouvement tout en soulignant que la technologie ne doit pas choquer le public extérieur.

Tanveer et al. [96] ont développé une preuve de concept qui utilise les lunettes électroniques pour des informations de la scène comme le nombre de personnes présentes, leurs distributions d'âge et de sexe, etc. (cf. Figure 1.7.a.1). Expression [97] est un système qui permet à l'utilisateur de savoir les expressions faciales et comportementales non verbales (ex, regarder gauche/droite, sourire, sommeil, etc.) de son interlocuteur. Les lunettes permettent de capturer le flux vidéo de ce que l'utilisateur regarde et le transmettant à un serveur qui contient un moteur d'inférence qui retourne une prédiction. L'utilisateur reçoit un retour auditif du résultat. Une précision de 82.5% a été rapportée avec une évaluation subjective de 4.38 (sur une échelle de Likert à 5). (cf. Figure 1.7.a.2)

VirtualEyes [98] est un système qui aide le malvoyant à naviguer dans un environnement intérieur en lui fournissant un guidage vocal. L'application utilise des algorithmes de traitement d'images. Une étude de faisabilité a montré une détection de couloirs à 81.8%. Un travail plus récent et plus élaboré est Ebsar [99] qui guide les malvoyants à l'intérieur. L'application s'appuie un plan des locaux, des marqueurs QR imprimés et placés sur les murs du couloir pour répondre aux commandes vocales de l'utilisateur ("où suis-je ?", "guide-moi"). L'étude réalisée montre la capacité des utilisateurs aveugles à utiliser rapidement l'application. La tâche qui demande le plus de temps est celle dans laquelle l'utilisateur demande un guidage vers un emplacement spécifique. Dans cette tâche, l'utilisateur aveugle doit écouter attentivement et suivre les instructions fournies. Les utilisateurs déclarent également que l'application est facile à utiliser sans l'aide d'une autre personne.

Résumé

Les travaux [95–99] montrent le potentiel des lunettes pour aider à analyser l'environnement et guider les aveugles. Différentes fonctionnalités sont offertes : reconnaissance des objets dans la scène [97], détection des expressions faciales [97] et guidage dans un environnement intérieur [98, 99].
Les travaux n'ont pas effectué d'études utilisateurs sauf pour [99] qui a montré une bonne satisfaction des utilisateurs.

5.1.2 Amélioration de la vision

D'autres études ont utilisé les lunettes électroniques comme un outil pour améliorer la vision de l'utilisateur. Zhao et al. [100] ont montré à travers une étude que les lunettes électroniques peuvent être un outil d'accessibilité pour les gens à basse vision. Ils présentent des lignes directrices et des opportunités pour le développement des applications sur les lunettes. Les lunettes permettent d'afficher les informations améliorées dans le champ de vision de l'utilisateur ce qui donne plusieurs avantages potentiels : portabilité, confidentialité et disponibilité immédiate. Hwang et al. [101] ont développé une application pour améliorer le contraste des bords de la vue du monde réel du porteur dans le but d'améliorer la netteté de l'image perçue. Une étude préliminaire conduite avec trois participants a montré une amélioration de leur visibilité.

Hu et al. [102] se sont penchés sur le problème de l'héméralopie (cf. Figure 1.7.b.1) (la difficulté de voir lorsque la luminosité diminue). Ils utilisent des algorithmes pour améliorer la vision nocturne avec des images traitées plus lumineuses sur les lunettes électroniques. Les auteurs montrent la faisabilité de leur prototype mais aucune évaluation n'est réalisée.

Chroma [103] une application qui cible une anomalie particulière et répandue de la vision qui affecte la perception des couleurs : le daltonisme. Elle permet de voir une image traitée pour améliorer la reconnaissance des couleurs de la scène en temps réel. Une étude utilisateur a été conduite qui montre l'utilisabilité du système. Une autre étude a été réalisée par Ruminski [104] pour évaluer les méthodes de traitement des couleurs pour les daltoniens en utilisant différents types de lunettes et smartphones. L'étude rapporte que les lunettes électroniques ont été le dispositif préféré des utilisateurs. Contrairement à ces travaux qui demandent aux utilisateurs de regarder une vision corrigée sur l'écran des lunettes plutôt que directement sur l'environnement, un travail plus récent et plus élaboré nommé ChromaGlasses [105] (cf. Figure 1.7.b.2) permet directement de corriger la vue en temps réel pour compenser l'effet de la déficience de la vision des couleurs. ChromaGlasses permet de détecter les couleurs critiques dans la vue de l'utilisateur et les remplacer pixel par pixel. L'étude réalisée montre que la charge cognitive de l'utilisation du système était très réduite.

Les lunettes électroniques peuvent servir comme un outil pour agrandir le texte pour les personnes avec une basse vision. Pundlik et al. [106] ont développé une application qui projette sur l'écran des lunettes des captures d'écrans en temps réel du smartphone avec une taille de texte agrandie. L'orientation de la tête est utilisée pour changer la région de focus sur l'écran du smartphone. L'étude utilisateur rapporte que la lecture avec les lunettes était plus rapide qu'utiliser la fonction du zoom sur le téléphone. Une autre approche pour l'agrandissement de texte est proposée par Stearns et al. [107] (cf. Figure 1.7.b.3). Elle permet de superposer un contenu virtuel dans un environnement 3D pour améliorer la visibilité. En plus, l'étude présentée évalue différentes sources d'acquisition pour l'image à agrandir : tête, smartphone ou une caméra montée sur le doigt. Une étude a été réalisée avec six participants. Les participants ont identifié plusieurs avantages des lunettes et de l'application (portabilité, confidentialité, disponibilité immédiate, une expérience de lecture plus naturelle et la capacité à effectuer plusieurs tâches à la fois).

Une tâche critique pour les malvoyants est la recherche visuelle. CueSee [108] (cf. Figure 1.7.b.4) est une application sur les lunettes pour aider les malvoyants dans la recherche des produits dans les rayons du supermarché d'une manière indépendante. Elle permet la reconnaissance du produit recherché et indique à l'utilisateur son emplacement avec des repères visuels. Une étude a été réalisée avec 12 participants à basse vision qui utilisent une loupe pour la recherche visuelle. Les résultats ont montré que cette application réduit le temps de recherche (14.88s avec les lunettes contre 27.73s avec la loupe) et augmente la précision (100% avec les lunettes contre 93.33% avec la loupe).

Résumé

Les travaux considèrent différentes applications pour améliorer la vision des malvoyants : améliorer le contraste des bords [101], améliorer la vision nocturne [102], percevoir des couleurs [103–105], agrandir du texte [106, 107] ou rechercher des produits [108]. Dans [104], les lunettes ont été le dispositif préféré des utilisateurs par rapport un smartphone.

Figure 1.7 : Différents types d'utilisation des lunettes électroniques pour les malvoyants.

5.2 Déficience auditive

5.2.1 Transcription de la parole

Watanabe et al. [109] ont développé un système qui transcrit la parole dans l'environnement et l'affiche sur l'écran sous forme de texte avec une localisation de la direction de la source du son (cf. Figure 1.8.a). Une étude de performance du système a été réalisée. Elle montre que le système peut reconnaître plus de 90% de la parole. Avec une architecture différente, Berger et al. [110] ont développé un système qui transcrit la parole et l'affiche sur l'écran en envoyant le flux audio à un serveur dans le cloud (qui est basé sur les réseaux de neurones) pour avoir une réponse plus fiable et un traitement plus rapide. Une évaluation technique montre un résultat de 85% de reconnaissance avec un temps de réponse de 1515ms.

Alkhalifa et al. [111] ont développé Enssat, une application bilingue (arabe / anglais) basé sur un smartphone qui utilise les lunettes électroniques pour la transcription, la traduction en temps réel et la gestion d'alertes liées à certains sons de l'environnement (tels qu'un bébé qui pleure, un klaxon de voiture, une sirène d'ambulance, un téléphone qui sonne ou l'alarme incendie qui se déclenche). Une étude utilisateur a été réalisée pour évaluer l'application. Dans cette étude, 10 utilisateurs déficients auditifs ont évalué les processus de transcription et 15 utilisateurs non déficients auditifs ont évalué la fonction de traduction du système. Les résultats ont démontré sa facilité d'utilisation et son utilité d'application.

Résumé

Les travaux [109–111] montrent la faisabilité et le potentiel d'utilisation des lunettes pour la transcription de la parole pour les déficients auditifs. [111] a réalisé une étude utilisateur qui a montré l'utilité et la facilité d'utilisation de leur application.

5.2.2 Visualisation de la langue des signes

D'autres travaux se sont penchés sur l'affichage de la langue des signes. Le projet Glass vision 3D [112] (cf. Figure 1.8.b.1) utilise les lunettes électroniques pour permettre aux élèves de scanner des QR codes sur des objets dans la classe afin de lancer une vidéo explicative en langue des signes. Une étude d'utilisabilité a été réalisée avec des élèves et a montré leur enthousiasme et leur appréciation des lunettes.

Une autre application pour les étudiants à l'université développé par Millier et al. [113] permet d'afficher la langue des signes ou des notes (cf. Figure 1.8.b.2). L'expérience avait pour objectif d'étudier le potentiel d'avoir un écran devant les yeux qui évite le basculement visuel pour avoir toutes les informations nécessaires (enseignant, interprète en langue des signes, diapositives). Les utilisateurs ont déclaré qu'il était facile pour eux de suivre le cours avec cette technologie mais il n'y avait pas un effet significatif sur l'apprentissage.

Résumé

Deux travaux pour afficher la langue des signes sur les lunettes sont rapportés [112, 113]. Les deux travaux utilisent la fonctionnalité dans un contexte pédagogique et rapportent un retour positif des utilisateurs.

5.2.3 L'évaluation de la compréhension

Ioannou et al. [114] ont voulu aider les élèves sourds dans les écoles classiques d'une autre manière. Ils ont développé une application sur les lunettes électroniques qui permet d'afficher durant le cours des questions ou des notes préparées et de les envoyer aux élèves afin de s'assurer de leur compréhension (cf. Figure 1.8.c). Une étude a été réalisée avec une élève en laboratoire avec un retour positif sur l'expérience d'apprentissage, mais elle n'a pas accepté de faire l'étude dans sa classe. Elle a trouvé que les lunettes électroniques utilisées n'étaient pas assez esthétiques. Elle a rapporté qu'elle ne voudrait pas les porter en classe car cela attirerait trop l'attention de ses camarades de classe qui pourraient alors l'intimider. Les lunettes électroniques doivent être conçues dans un format esthétique et ergonomique qui ressemble à des lunettes de vue ordinaire.

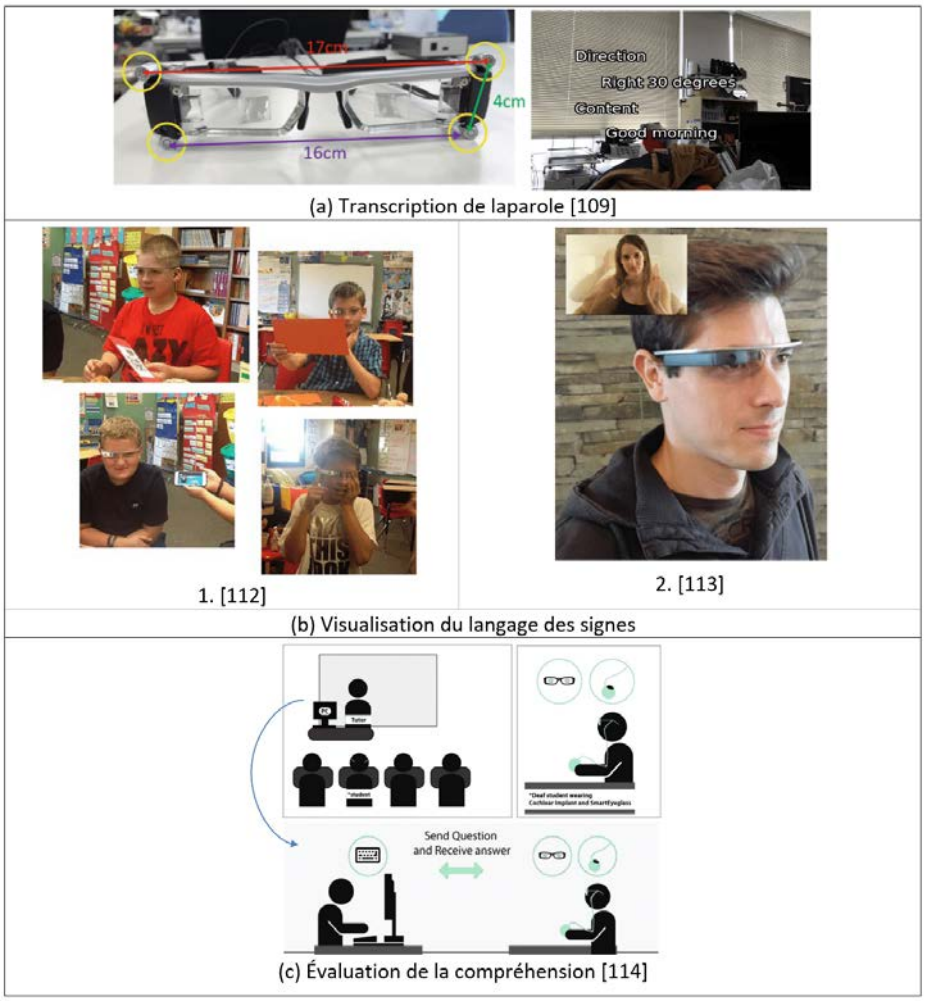


Figure 1.8 : Différents types d'assistance des déficients auditifs avec les lunettes électroniques.

5.3 Déficience motrice

Les lunettes électroniques permettent aux personnes avec une déficience motrice d'accéder facilement à l'information sans nécessiter un effort physique pour interagir avec un dispositif ou même interagir avec le monde autour.

5.3.1 Interaction main libres

Pour les utilisateurs présentant des déficiences motrices du haut du corps, les smartphones ou les autres dispositifs similaires peuvent présenter des problèmes d'usage. Malu et al. [115] ont effectué une étude utilisateur pour explorer le potentiel d'utilisation des lunettes électroniques pour améliorer l'accès à l'informatique mobile pour les personnes avec des déficiences motrices du haut du corps. Les participants ont pu utiliser les lunettes avec les commandes vocales et des touchpad situés à différents endroits. Ils ont cité plusieurs avantages potentiels par rapport aux smartphones : ils ne doivent pas tenir le dispositif pendant l'interaction, ils ne doivent pas regarder vers le bas pour voir l'écran et ils ne craignent pas de laisser tomber le dispositif.

Gips et al. [116] ont développé une preuve de concept sur la capacité d'utiliser les lunettes comme un outil de communication pour les gens qui ne peuvent pas parler et qui ne peuvent pas utiliser leur main pour communiquer (cf. Figure 1.9.a.1). L'application utilise le gyroscope embarqué sur les lunettes pour permettre à l'utilisateur de naviguer sur l'écran des lunettes avec le mouvement de sa tête. Aucune étude n'a été réalisée. Sinyukov et al. [117] ont utilisé les lunettes électroniques avec des commandes vocales pour contrôler un fauteuil roulant dans un environnement intérieur (cf. Figure 1.8.a.2). Cela permet une navigation aisée pour des personnes ayant des difficultés à contrôler la manette avec leurs mains. Les lunettes peuvent aussi afficher des informations comme la carte, les obstacles et les messages.

Résumé

Les travaux [115–117] montrent le potentiel des lunettes électroniques pour promouvoir l'interaction libre avec l'environnement autour en utilisant des commandes vocales [115, 117] ou des mouvements de la tête [116]. Les travaux rapportés n'ont pas réalisé de tests utilisateurs.

5.3.2 Amélioration de la marche

Une autre maladie où l'utilisation des lunettes électroniques est bénéfique est la maladie de Parkinson (un trouble du système nerveux central qui affecte les mouvements et qui entraîne souvent des tremblements). Zhao et al. [118] ont recueilli les réponses d'un questionnaire pour fournir des recommandations aux futurs développeurs d'applications pour les personnes ayant la maladie de Parkinson. Zhao et al. [119] ont utilisé les lunettes électroniques pour aider les malades de Parkinson à améliorer leur marche en leur fournissant des indices audiovisuels (métronome, clignotant, flux optique) (cf. Figure 1.9.b). Une étude a été réalisée pour étudier son impact sur plusieurs paramètres (vitesse de marche, cadence, longueur de foulée

et variabilité de la longueur de la foulée) à l'aide des capteurs. Globalement, les participants ont montré leur intérêt pour les lunettes et les résultats ont montré une marche plus stable en utilisant les indices.

Résumé

Les travaux [118, 119] montrent le potentiel et l'intérêt des lunettes électroniques pour les personnes atteintes de la maladie de Pakinson . L'application réalisée par [119] pour les aider à améliorer leur marche a révélé un impact positif avec une marche stable en utilisant des indices audiovisuels fournis à travers les lunettes (métronome, clignotant).

5.3.3 Contrôle de la voix de l'utilisateur

Pervaiz et al. [120] profitent de la technologie des lunettes électroniques pour aider les personnes ayant une dysarthrie (trouble de la parole causé par une faiblesse musculaire). Leur application SpeechOmeter (cf. Figure 1.9.c) permet aux utilisateurs de surveiller leur voix en fournissant un retour visuel en temps réel sur le volume afin de l'augmenter pour que les gens comprennent facilement ce qu'ils disent. Une étude utilisateur a été effectuée qui révèle une satisfaction des utilisateurs concernant le retour visuel fourni par les lunettes.

En plus de ses effets sur l'équilibre et la coordination, la maladie de Parkinson peut avoir un effet sur la voie du malade. LApp [121] est une application sur les lunettes électroniques qui permet aux utilisateurs de surveiller leur voix. Plusieurs participants ont montré un intérêt à ce type d'application vu l'impact du problème de volume sur la confiance et la socialisation.

Résumé

Les travaux [120, 121] montrent le potentiel et la satisfaction des utilisateurs sur l'usage des lunettes pour surveiller leur voix. Les utilisateurs rapportent l'utilité de ces applications pour la confiance et la socialisation.

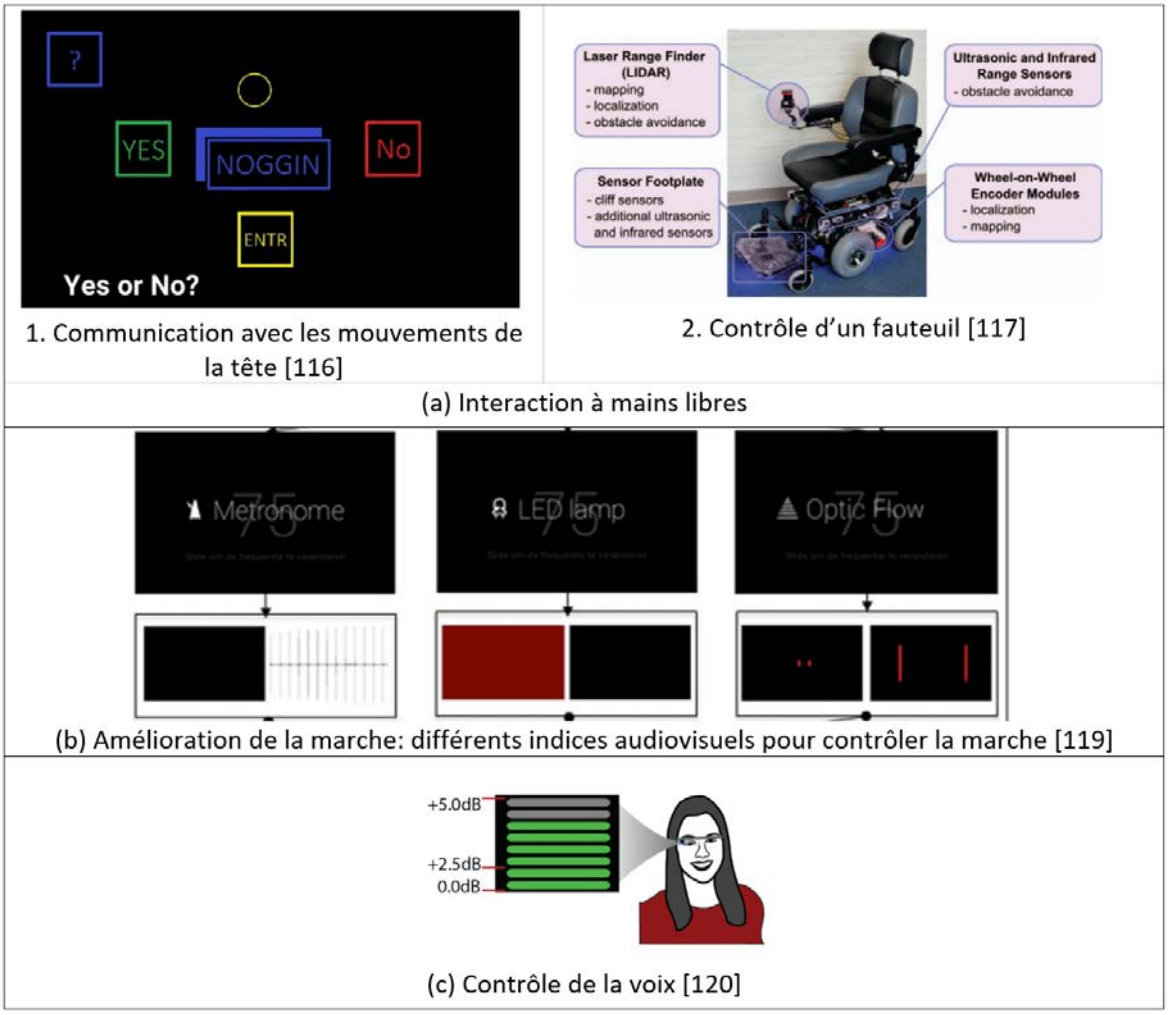


Figure 1.9 : Différentes applications des lunettes pour assister les déficiences motrices.

5.4 Déficience cognitive

Les lunettes électroniques peuvent aider les utilisateurs qui ont des problèmes cognitifs dans leur vie quotidienne. Grâce à ses capacités de traitement, de reconnaissance de scène (personnes, objets, endroits, etc.), de communication en temps réel et leur mobilité, elles peuvent contribuer à la compensation de plusieurs problèmes cognitifs (en affichant des indications sur leurs écrans).

5.4.1 Aide à la reconnaissance

Ha et al. [122] ont proposé un prototype d'assistance cognitive appelé Gabriel. Le système propose une reconnaissance faciale, une reconnaissance d'objets, une reconnaissance de texte, une interprétation du mouvement et l'inférence d'activités. Aucune étude utilisateur n'est réalisée mais les auteurs ont souligné le problème de batterie qui ne dure pas longtemps. Ce travail n'adresse pas un problème cognitif spécifique.

5.4.2 Aide à la mémorisation

Way et al. [123] ont utilisé les lunettes comme un outil pour compenser les déficiences de mémoire chez les malades d'Alzheimer (cf. Figure 1.10.a). Une preuve de concept appelée Elephant permet la création et l'affichage des éléments de mémoires en utilisant l'apprentissage automatique d'une façon discrète devant les yeux contrairement à d'autre aides à la mémorisation mais aucune évaluation n'a été réalisée.

5.4.3 Aide à la communication

La phobie sociale peut être surmontée à l'aide des lunettes électroniques. Miranda et al. [124] ont développé un système sur les lunettes électroniques qui détecte les périodes d'anxiété chez les personnes qui ont une phobie sociale. L'application utilise le rythme cardiaque et le taux de clignement d'œil. Cela permet d'enregistrer leurs périodes d'anxiété et les réviser plus tard afin d'éviter d'aller chez un thérapeute pour une thérapie cognitivo-comportementale.

Les lunettes électroniques peuvent aider les personnes aphasiques à communiquer. Williams et al. [125] ont développé une preuve de concept GLAAC (cf. Figure 1.10.b.1) qui consiste à afficher des images avec du texte et du son avec navigation pour trouver des mots sur les lunettes sans utiliser un dictionnaire ou une personne. Cela permet d'augmenter leur indépendance mais aucune évaluation n'a été réalisée.

Les lunettes électroniques peuvent offrir plusieurs avantages aux personnes autistes. La société Brain Power[2] en partenariat avec des laboratoires de recherche ont réalisé plusieurs travaux sur ce sujet. Ils ont développé BPS (Brain Power System) [126] qui fournit un encadrement ciblé pour la communication sous forme de jeu en utilisant l'intelligence artificielle. Cette forme de jeu permet d'apprendre comment les expressions faciales correspondent aux émotions pour une amélioration cognitive. Dans une autre étude [127] (cf. Figure 1.10.b.2), les enfants ont rapporté qu'ils seraient prêts à porter et à utiliser les lunettes à la maison et à l'école. C'est ainsi q'une étude dans l'environnement d'éducation des enfants autistes a été mené [128] (cf. Figure 1.10.b.2). Les enseignants ont estimé que les élèves ont eu une amélioration des leurs compétences verbales et non verbales. De plus, l'expérience était amusante pour eux. Une autre version dédiée aux adultes et aux enfants a été développée : BPAS [129] (cf. Figure 1.10.b.2). L'étude montre l'utilisabilité et l'acceptabilité des lunettes électroniques dans un échantillon diversifié d'enfants et d'adultes atteints d'autisme. À travers une autre étude [130], ils ont montré la sécurité et l'absence d'effets négatifs des lunettes électroniques sur cette population.

SuperpowerGlass [131] est un autre système qui a été développé par Washington et al. pour l'aide à la thérapie à domicile pour les enfants autistes. Les parents contrôlent les lunettes électroniques à travers une application sur smartphone pour initier trois types d'activités : capturer le sourire, deviner l'émotion et détecter les expressions faciales. Une étude longitudinale de trois mois a été réalisée pour observer l'utilisation des lunettes électroniques dans un environnement à domicile

[2]http ://www.brain-power.com/

par des enfants atteints d'autisme. Les résultats montrent que cet outil peut entraîner une amélioration du comportement des enfants même quand ils ne portent pas les lunettes.

Résumé

Les travaux présentés montrent l'utilisation des lunettes électroniques pour surmonter différentes déficiences pour l'aide à la communication : phobie sociale [124], aphasie [125] et autisme [126–131]. Les auteurs des deux travaux qui s'adressent à la phobie sociale et à l'aphasie ont développé des prototypes qui montrent la faisabilité mais une évaluation utilisateur sur l'utilité et la satisfaction reste nécessaire. Les travaux sur l'autisme [126–131] rapportent une acceptabilité et une utilisabilité des lunettes en plus de l'amélioration verbale et non verbale.

Figure 1.10 : Quelques utilisations des lunettes électroniques pour les déficiences cognitives.

5.5 Monitorage de l'état de santé

5.5.1 Suivi des paramètres physiologiques

Le suivi des paramètres physiologiques permet de donner une idée sur l'état de santé (détection précoce et diagnostic). L'emplacement des lunettes permet de surveiller discrètement et en permanence certaine informations physiologiques pendant les activités quotidiennes.

BioGlass [132] utilise les capteurs embarqués sur les lunettes électroniques (accéléromètre, gyroscope et caméra) pour estimer le rythme cardiaque et respiratoire du porteur. Une étude réalisée pour étudier les performances des algorithmes utilisés montre l'efficacité de la méthode avec une moyenne d'erreur basse. Richer et al. [133] ont développé DailyHeart qui utilise en plus du smartphone et une montre connectée, une extension sur les lunettes comme un moyen d'affichage d'information et de notifications sur le rythme cardiaque en temps réel. Une étude réalisée montre l'utilisabilité de ce système dans la vie quotidienne.

Résumé

Les lunettes peuvent servir comme un moyen de visualiser les paramètres physiologiques [133] ou peuvent aider à capturer certains paramètres physiologiques à l'aide de ses capteurs [132]. Les résultats montrent que le système de surveillance cardiaque développé est utilisable dans la vie quotidienne [133].

5.5.2 Identification des produits allergènes

Les lunettes électroniques peuvent accompagner les personnes allergiques. GlassAllgery [134] (cf. Figure 1.11.a) est une preuve de concept pour aider les personnes avec une peau allergique dans leurs achats des produits cosmétiques. L'application sur les lunettes électroniques permet d'identifier et vérifier en situation de mobilité les substances des produits qui posent problème et éviter de les acheter.

5.5.3 Le suivi diététique

Les lunettes électroniques peuvent être aussi utilisées dans le suivi diététique, car les comportements alimentaires peuvent avoir un grand impact sur la vie des personnes spécialement celles qui souffrent de maladies ou celles qui veulent une gestion de leurs poids. Cela engendre des restrictions et nécessite un suivi pour surveiller ce qu'elles mangent, quand et en quelles proportions.

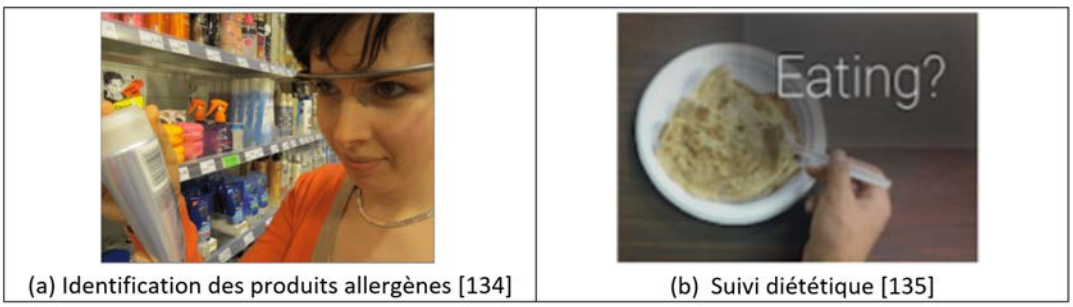
Rahman et al. [135] ont développé GLEAM (GLass Eating And Motion) (cf. Figure 1.11.b) un système qui utilise les lunettes électroniques pour capturer le mouvement de la tête afin de détecter si la personne mange pour faciliter le suivi alimentaire. A l'aide de données de capteurs recueillies auprès de 38 participants menant une série d'activités comprenant l'alimentation. Les auteurs ont montré que les données sur les mouvements de la tête sont suffisantes pour permettre de reconnaître l'activité d'alimentation avec une grande précision et avec un impact minimal sur la vie privée et le confort. Ye et al. [136] utilise une montre connectée

en plus pour la détection de l'activité d'alimentation. Les résulats de performances montre une grande précision.

Mirtchouk et al. [137] ont développé un système qui combine les données du mouvement (poignet et tête) et du son de l'environnement pour déterminer le contenu et la quantité de repas en utilisant les lunettes électronique et d'autre capteurs portés. Une étude de performance de système a montré 35.4% d'erreur de détection.

Résumé

Les lunettes ont le potentiel d'aider au suivi diététique des personnes [135–137]. Les deux premiers travaux [135, 136] permettent de détecter l'activité alimentaire, ce qui est nécessaire mais pas suffisant pour surveiller ce que les personnes mangent. [137] développe une application pour déterminer le contenu et la quantité de repas, mais les résultats contiennent beaucoup d'erreurs de détection. Ces applications nécessitent des approches plus développées et des études plus approfondies.



(a) Identification des produits allergènes [134] (b) Suivi diététique [135]

Figure 1.11 : Quelques utilisations des lunettes électroniques pour le monitorage de l'état de santé.

6 Conclusion et perspectives

Avec l'émergence des nouvelles technologies, le secteur médical est renforcé par de nouvelles capacités qui enrichissent les capacités des professionnels de santé pour améliorer leur efficacité et la qualité des soins. Les patients bénéficient aussi de nouveaux outils pour aider à suivre leur état de santé et le monitorer. Les lunettes électroniques offrent une nouvelle plateforme applicative comme les smartphones et les tablettes mais avec un écran transparent devant les yeux qui a attiré le secteur médical dès son lancement. Nous avons montré dans ce chapitre les différents travaux dans la littérature et leurs applications dans le domaine de santé. L'étude présente les travaux selon deux axes : orienté professionnels de santé et orienté patients. Chaque axe est divisé sur des cas d'utilisation.

Les différents travaux rapportés dans cette étude montrent que les lunettes électroniques ont clairement une utilité et un potentiel dans le domaine de la santé. Elles sont utilisées dans différents contextes cliniques et chirurgicaux par les professionnels de santé comme par des patients pour surmonter différents types de déficiences : visuelles, auditives, motrices et cognitives.

Cette étude a permis de souligner plusieurs remarques importantes. Plusieurs travaux présentent les potentiels d'utilisation des lunettes électroniques dans le domaine de la santé sous forme de preuve de concept mais sans résultats quantitatifs. Cela présente plusieurs pistes pour d'autres recherches mais des études approfondies sont nécessaires avec des analyses critiques des avantages et des limitations pour une adoption de ce type d'application dans la vie quotidienne des professionnels de santé et des patients.

La plupart des travaux utilisent la capacité d'enregistrement de vidéos, de sons ou de photos. D'autres travaux s'intéressent à la visualisation. Ils affichent les signes vitaux ou les informations d'un autre moniteur de navigation. Les travaux examinés ne réalisent pas une étude de conception spécifique pour les lunettes électroniques en tenant compte de ses caractéristiques.

Néanmoins, le plus grand défi réside dans l'amélioration de l'interface utilisateur. Visualiser une interface déjà existante comme le moniteur des signes vitaux sur les lunettes électroniques sans une conception adéquate pour ce dispositif n'est pas une approche optimale. On s'attend à ce que les travaux à venir se concentrent sur l'aspect interaction homme machine en développant des applications sur mesure avec l'implication des utilisateurs. Cela peut conduire à une expérience utilisateur améliorée. Un seul travail examiné [42] se concentre sur la conception centrée utilisateur et étudie ses besoins. Beaucoup de travaux testent l'utilisation des lunettes électroniques sans développer leurs propres applications.

Les applications intelligentes et spécialisées qui permettent de détecter les anomalies et les maladies afin de mieux diagnostiquer le patient ont besoin d'être développées. La capacité du traitement automatique n'est pas exploitée par les travaux examinés.

Une autre préoccupation est liée à la technologie des lunettes électroniques. Plusieurs limites techniques sont mentionnées dans les travaux comme la qualité de la caméra [52], la visualisation dans un environnement lumineux, la résolution de l'écran [79], le microphone qui enregistre un niveau élevé de bruit [79], la difficulté d'interaction [55, 56] et la faible capacité de la batterie [123] pour durer 8 heures sans recharge (la durée d'une journée de travail). Les lunettes électroniques restent une plateforme en développement avec quelques limitations. Des améliorations du produit sont nécessaires.

En plus de ces défis, l'acceptabilité sociale du côté des patients est un autre sujet de préoccupation qui doit être étudié pour les travaux futurs. Une participante a refusé de porter les lunettes dans la classe car elle craignait le regard de ses camarades [114]. Les lunettes électroniques doivent être conçues dans un format esthétique et ergonomique qui ressemble à des lunettes de vue ordinaire.

Mise à part la visualisation des signes vitaux, aucun travail examiné ne traite de la visualisation des différentes facettes du dossier patient : problèmes, traitements, médicaments, allergies, etc. Notre étude s'intéresse à la visualisation des dossiers patients sur les lunettes électroniques. Dans les chapitres qui suivent, nous allons détailler nos contributions. Pour commencer, nous étudierons dans le chapitre 2 un cadre de pensée sous forme d'un espace de conception pour la visualisation des dossiers patients.

Chapitre 2

Un espace de conception pour les interfaces des dossiers patient électroniques

***

Si vous pensez qu'une bonne conception coûte cher, vous devriez regarder le coût d'une mauvaise conception.

Ralph Speth

Sommaire

1 Introduction 51
2 L'analyse d'applications de dossiers patient électroniques 52
3 L'exploration de l'espace de conception 57
4 Justification conceptuelle 67
5 Utilisation de l'espace de conception 68
6 Discussion et limitations 70
7 Conclusion et perspectives 71

1 Introduction

Nous avons montré dans le chapitre précédent le potentiel des lunettes électroniques dans le domaine de la santé pour des contextes cliniques et chirurgicaux. Nous nous intéressons plus particulièrement à l'utilisation des lunettes électroniques pour manipuler et afficher le dossier patient.

L'objectif de ce chapitre est de définir un cadre de pensée sous la forme d'un espace de conception qui permet de détecter rapidement les lacunes des systèmes existants et d'aider à la spécification de nouveaux systèmes en terme d'IHM. MacLean et al. [138] définissent un espace de conception comme un "espace de possibilités" afin de définir et de clarifier un train de pensées et d'idées. Compte tenu

de la difficulté de concevoir une solution, les concepteurs ont besoin d'un outil pour les aider à développer leurs idées. D'où l'importance d'un espace de conception « *qui limite les possibilités de conception à certaines dimensions, tout en laissant d'autres ouvertes à l'exploration créative* » [139]. Les espaces de conception décrivent non seulement les options de conception existantes, mais également les possibilités futures. C'est pourquoi ils diffèrent des classifications et des taxonomies [140].

Plusieurs espaces de conception ont été développés dans les différents domaines de l'interaction homme-machine afin de normaliser et de faciliter le rôle du concepteur. Renate Haeuslschmid et al. [141] présentent un espace de conception en cinq dimensions pour un pare-brise interactif afin d'aider les concepteurs à concevoir différents types d'applications pour les voitures. D'autres dans des domaines plus proches comme [140] qui caractérise les principaux aspects des tâches d'interface et Nancel et al. [142] qui structurent les menus et sélectionnent les éléments. Nous n'avons pas trouvé d'espaces dédiés à la visualisation des dossiers patients.

Le dossier patient électronique DPE (Electronic Health Record ou EHR en anglais) est axé sur la santé globale du patient. Un DPE 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 » [143]. Les systèmes DPE peuvent aider les praticiens à améliorer la qualité des soins, l'efficacité et la coordination du travail [144].

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 [145]. La visualisation de l'information pour les systèmes DPE n'est pas avancée contrairement à la visualisation dans d'autres disciplines scientifiques. La représentation des données se fait souvent sous forme de tableau incluant des graphiques malgré les différentes possibilités que la visualisation de l'information peut offrir [146]. Les utilisateurs du DPE travaillent dans un environnement complexe et doivent accéder à différents types d'informations dans différentes situations. Ils ont également des rôles différents. Par conséquent, la tâche du concepteur devient difficile.

Il existe des guides pour aider le concepteur des systèmes DPE tels que : l'évaluation de l'utilisabilité des DPE [144]. Ils fournissent des principes de conception adaptés à la visualisation des DPE, mais ils n'offrent pas différentes possibilités. Il existe également des travaux, tels que [147–149] 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. À travers notre espace de conception, nous allons montrer les lacunes existantes dans les applications existantes et identifier les besoins à considérer.

2 L'analyse d'applications de dossiers patient électroniques

2.1 Méthodologie

2.1.1 Analyse globale : méthode 5W1H

Au début de notre travail, nous avons utilisé la méthode de 5W1H qui nous a permis d'extraire les dimensions de notre espace de conception en posant les bonnes

questions. 5W1H est une abréviation des questions : « Who ? What ? Where ? When ? Why ? How ? » (« Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Pourquoi ? Comment ? »). Cette méthode permet de cerner, structurer et identifier les aspects essentiels qui constituent les dimensions de notre espace de conception. Elle constitue une formule pour obtenir l'histoire complète sur un sujet [150]. Elle est très répandue en journalisme. Mais elle est utilisée aussi dans d'autres domaines comme la gestion d'entreprise [151], le marketing [152] et même en visualisation [153] ou pour construire un espace de conception [140]. Les questions que nous avons posées pour obtenir les dimensions sont les suivantes (cf. figure 2.1) :

1. *Qui* a besoin de visualiser ou d'interagir avec le dossier patient ?
2. *Qu'*a besoin de voir l'utilisateur ?
3. *Où* devrait héberger une visualisation du dossier patient ? *Où* l'utilisateur visualise-t-il le dossier patient ?
4. *Quand* l'utilisateur visualise-t-il le dossier patient ?
5. *Pourquoi* la visualisation est-elle utilisée ?
6. *Comment* l'utilisateur visualise-t-il le dossier patient ? *Comment* l'utilisateur interagit-il avec le dossier patient ?

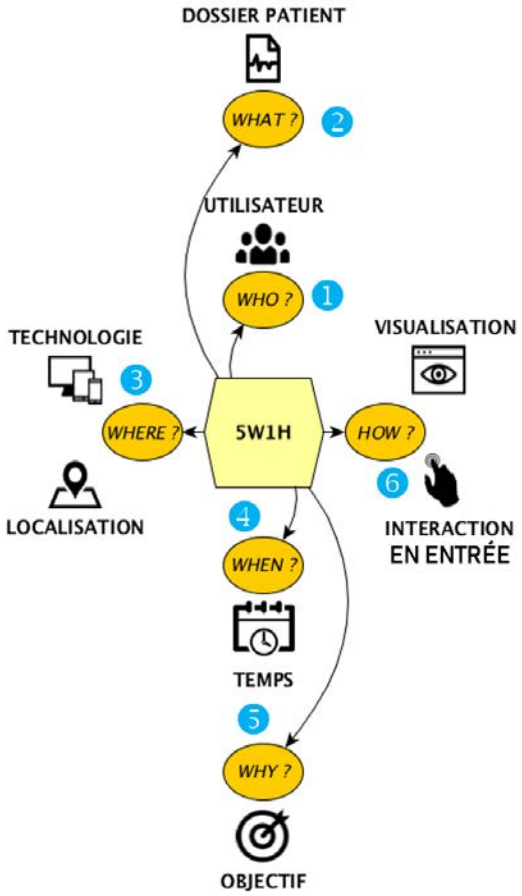


Figure 2.1 : Les dimensions de l'espace de conception pour les interfaces de dossiers patients.

2.1.2 Analyse détaillée

Nous avons effectué une recherche approfondie dans la littérature : des articles de recherche, des brevets et des rapports. Pour assurer la qualité de notre travail, nous avons utilisé la méthode PRISMA [36] (Preffered Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis). Aussi, nous avons sélectionné soigneusement nos mots clés, nous avons utilisé en premier des termes généraux pour couvrir le champ d'études : «visualisation d'information» et «dossier patient». Plus de 150 références ont été extraites de notre recherche initiale à travers les bases de données électroniques et les moteurs de recherches tels que Google Scholar, ResearchGate, ACM Digital Library, IEEE Xplore et Web of science. Cela a été complété par la recherche des articles pertinents cités dans la bibliographie de ces articles. Beaucoup d'articles étaient exclus parce qu'ils ne décrivent pas une technique de visualisation spécifique et l'interface de visualisation n'est pas interactive. Au total, 54 articles qui respectent les critères ont été identifiés. Nous rapportons dans la suite les résultats de 12 systèmes qui sont représentatifs incluant des choix de conception différents :

1. Plaisant et al., 2003 [154] : le système est l'un des pionniers. Il fournit une interface de visualisation générale des données médicales du dossier patient.
2. Ruchikachorn et al., 2014 [155] : un système de dossiers patients électronique pour la préparation de la visite clinique.
3. Faiola et al., 2015 [156] : un système qui permet d'afficher sur une tablette les signes vitaux du moniteur de la chambre du patient en plus d'autres données médicales dans le service des soins intensifs.
4. Jin et al., 2016 [157] : un système avec une représentation du corps humain 2D qui permet la navigation dans les différents systèmes physiologiques.
5. Thomas et al., 2017 [158] : un système de visualisation sur un grand écran mural, destiné à aider à la collaboration entre les docteurs et les infirmières dans le service des soins intensifs.
6. Dabek et al., 2017 [159] : un système qui permet de parcourir rapidement les données du dossier patient avec une représentation sous forme d'arbre et une représentation chronologique.
7. Zhang et al., 2018 [160] : un système de visualisation pour les patients atteints d'un cancer.
8. Vo et al., 2018 [161] : un système de visualisation pour les docteurs gastro-entérologues.
9. Warner et al., 2015 [162] : : un système de visualisation spécialement conçu pour explorer les dossiers patients similaires.
10. Huang et al., 2015 [163] : un système de visualisation pour suivre l'évolution de la maladie rénale chronique dans le temps.

11. Loorak et al., 2016 [164] : un système de visualisation destiné aux chercheurs pour les aider à analyser les données des patients atteints d'un AVC.

12. Malver et al., 2017 [165] : un système pour aider le personnel médical lors des tournées quotidiennes.

Nous avons voulu compléter notre étude en recueillant les opinions des docteurs qui utilisent les applications de visualisation des dossiers patients et les attentes relatives à la réussite de tels systèmes. Neuf médecins volontaires (huit hommes et une femme) du service de soins intensifs de l'Université de l'Illinois Hospital à Chicago ont participé à l'interview. Tous parlaient couramment l'Anglais. Toutes les procédures ont eu lieu dans le bureau des docteurs. Les questions de l'interview ont permis aux participants d'exprimer librement leurs préoccupations (aspects positifs / négatifs).

2.1.3 Résultats

Nous avons recueilli différentes idées et les avons classées selon les dimensions identifiées avec la méthode 5W1H. Pour un plus grand niveau de détails, certaines dimensions sont décomposées en sous-dimensions. Le tableau 2.1 en fournit une courte description et illustre chacune d'elle à travers des exemples des systèmes existants et des suggestions issues des interviews.

Tableau 2.1 : Les différents exemples tirés de la littérature et d'interviews.

Dimension		
Sous-dimension	*Description*	*Exemples*
Utilisateur		
Cible	Les utilisateurs prévus dans l'application.	Le système est conçu pour aider les docteurs au service de soins intensifs [156, 158], les docteurs en gastro-entérologie [161], les patients atteints d'un cancer [160], les docteurs et les chercheurs [162–164] ou tout personnel médical [154, 155, 157, 159, 165].
Usage	Au cours de l'interaction, le nombre d'utilisateurs impliqués.	Le système a été développé pour un grand écran mural pour faciliter le travail d'équipe [158]
Dossier patient		
Cardinalité	Nombre de dossiers patient que le système peut afficher dans la même vue.	Certains sont développés pour visualiser un seul dossier patient [154–157, 159–161], plusieurs patients [162–164] ou mixte en pouvant choisir les deux modes de visualisation [158, 165].
Dimension	L'organisation des attributs des données médicales	Une dimension comme les notes [155, 156, 158], la dimension temporelle est utilisée dans [154–157, 159, 160, 164], arbre [159], réseau [162].
Type de données	Les deux types de données couvert par l'application : quantitatives et qualitatives.	Tous les systèmes utilisent des données qualitatives et quantitatives.
Nombre de variable	Le nombre de variables (médicaments, signes vitaux, etc.) prises en charge par l'application.	Toutes les variables [154, 155, 157, 158, 165], plusieurs variables [156, 158, 160, 161], peu de variables [162–164]. Le nombre de variables dépend de la taille de l'écran (Interviews)
Niveau	Le niveau de détail des données présentées à l'utilisateur.	Tous les systèmes donnent à la fois un aperçu de haut niveau et un aperçu de bas niveau pour plus de détails.
Technologie		

	Le dispositif sur lequel l'utilisateur interagit avec le dossier patient	Ordinateurs de bureau [154, 157, 159, 163–165], tablettes [155, 156, 159, 161], smartphone [160, 162], écran mural exposé [158]. Appareil mobile dans le milieu clinique, ordinateur de bureau et grand écran dans le bureau (interviews).
		Objectif
Tâche	La tâche à effectuer.	Explorer les données médicales, prendre une décision, évaluer les soins (interviews) [154–161, 165], faire des statistiques [162–164].
Cas d'utilisation	Les cas d'utilisation décrivant des scénarios fonctionnels.	Episode aigus [156, 158], Traitements chroniques [161, 163].
Fonctionnalités	Les fonctionnalités présentes dans l'application pour aider les utilisateurs à effectuer leurs tâches.	Imagerie médicale (interviews) [154, 157] Standards de codes médical (ICD-9-CM) [162, 163] Alertes et notifications (interviews) [154, 155, 157, 158, 165] Communication (message vocal, SMS, notes) (interviews) Recommandations de soins (interviews) Statistiques [162–164].
		Interaction en entrée
Canal	Les canaux fournis pour interagir avec le système.	Haptique en touchant un écran tactile [155, 156, 160–162] ou un clavier et souris pour les ordinateurs de bureau [154, 157, 159, 163–165]
Intention	Une catégorisation qui se concentre sur ce que l'utilisateur veut réaliser.	Sélectionner : le praticien doit sélectionner le signe vital et le glisser dans l'affichage [156]. "*J'ai besoin de mettre sur la vue ce dont j'ai besoin* (interviews) Explorer : un corps humain cliquable pour afficher de manière interactive des informations sur la santé [157], il est possible d'explorer et de réduire l'exploration de l'arbre [159]. Encoder : La possibilité de modifier la position des informations sur la vue [164]. Elaborer : Toucher un point apporte les détails de ce point [161], une action de survol peut être utilisée pour afficher à la demande la valeur enregistrée pour chaque graphique [158]. Filtrer : une icône de réduction permet de masquer certaines informations et d'agrandir le reste [161], un bouton de filtrage permettant de réduire les données présentées [159]. La possibilité de filtrer les patients en fonction d'une période donnée [164]. Connecter : la recherche peut mettre en évidence toutes les parties du dossier patient qui sont liées [154], l'analyse des notes non structurées permet une extraction facile des relations et d'afficher des informations pertinentes [155]. La visualisation permet de montrer les relations entre les informations [162].
		Visualisation
Technique	La technique utilisée pour présenter différentes parties d'informations sur la vue de l'application.	Techniques de non-distorsion : zoom avant et arrière pour les images disponibles [154] ou pour les graphiques [156], vue défilante contenant l'ensemble du dossier patient [159], nouvelle fenêtre [163], masquer certaines informations [158, 161]. Tout doit être rapidement accessible au même endroit (interviews)
Représentation	La manière de représenter l'information aux utilisateurs.	Tableau : du texte, des chiffres [158]. Diagramme : réseau [162], diagramme de Sankey [163], arbre [159], diagramme de Kiviat [158] Graphique : (interviews) [157, 158, 160, 161, 164]. Frise chronologique : [154–156, 159–161, 164]. Carte : une représentation 2D du corps humain [157]. Image : imagerie médicale [154, 157]

Variables visuelles	Les variables visuelles manipulées pour coder les informations.	Taille et position : la taille et la position sont utilisées dans les systèmes qui affichent des données ordonnées temporellement [154–156, 159–161, 164]. Forme : les cercles et les triangles sont utilisés pour les données quantitatives et les carrés pour les données qualitatives [161]. Les symptômes sont identifiés par des cercles colorés [157]. Couleur : la couleur met en évidence la gravité ou la catégorie de l'information [154], les informations connexes [155], des informations critiques telles que des allergies ou des alertes [156, 165], des résultats de test anormaux [157], une combinaison de maladie [163]. Transparence : la transparence montre les différentes doses d'un médicament [154], montre l'état du patient [158]. Texture : Certaines informations sont codées par des rectangles remplis en fonction de leur valeur. Les croix indiquent des données manquantes [164].
Adaptation et sensibilité au contexte	Une interface adaptative qui peut changer en fonction du contexte clinique	Mettre en valeur les données qui correspondent au contexte clinique (interviews)

3 L'exploration de l'espace de conception

Sur la base de l'analyse des applications existantes et des interviews avec les docteurs, nous avons constitué les différentes sous-dimensions et leurs valeurs (cf. tableau 2.2). Cette section décrit brièvement chacune des dimensions avec les différentes sous-catégories.

3.1 Utilisateur

3.1.1 Cible

En analysant les travaux, les systèmes ne ciblent pas tous les mêmes utilisateurs. Il existe des systèmes qui s'adressent à tout le personnel médical (docteurs, infirmiers, etc.) comme [154, 155, 157, 159, 165], à une catégorie spécifique telle que les docteurs des services de soins intensifs [156, 158], les docteurs gastro-entérologues [161] ou les patients atteints d'un cancer [160]. Il existe aussi des systèmes conçus pour les chercheurs [162–164]. Bien que ce ne soit pas présent dans les systèmes analysés, le DPE pourrait être utilisé par le personnel administratif (secrétaire, service juridique, etc.) ou par la famille du patient. C'est pourquoi l'espace les intègre comme cible potentielle.

L'application peut être conçue pour un seul type d'utilisateurs ou pour plusieurs types d'utilisateurs. Cela aura un impact sur la complexité de la tâche du concepteur. Le fait de pouvoir identifier les types d'utilisateurs permet au concepteur d'envisager une adaptation contextuelle comme par les docteurs durant les interviews. Si le concepteur ne tient pas compte de cette dimension, cela ne sera pas envisageable et limitera l'usage de l'application.

3.1.2 Usage

Lors des interviews, les docteurs ont insisté sur l'aide à la décision que peut apporter le système DPE et la communication entre collègues. [158] est le seul à

Tableau 2.2 : Tableau récapitulatif de l'espace de conception avec les sous-dimensions.

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				
	Niveau	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 de patient	Salle de soins	Bureau	Autres milieux cliniques	Maison	Bâtiment public	Extérieur
When ? TEMPS		Avant la consultation	Durant la consultation	Après la consultation				
Why? OBJECTIF	Tâche	Explorer les données médicales	Prendre une décision	Evaluer les soins	Faire des statistiques	Faire une tâche non-médicale		
	Cas d'utilisation	Episode 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	Visuel	Haptique				
	Intention	Sélectionner	Explorer	Reconfigurer	Encoder	Résumer/ Elaborer	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	Utilisateur	Dossier patient	Technologie	Localisation	Temps	Objectif	

* Sélection exlusive des valeurs

Dimension / sous dimension

proposer la collaboration de manière explicite. L'utilisation de l'application peut être individuelle ou collective. Le médecin peut visualiser le dossier patient avec l'infirmière ou différents spécialistes impliqués dans la prise de décision pour un patient. Un écran partagé entre différents utilisateurs peut favoriser la compréhension du contenu visualisé, l'attention et la participation. Cependant, l'utilisation individuelle promeut la flexibilité. Il est bon de savoir si la tâche nécessite une collaboration ou non pour trouver un compromis entre la flexibilité individuelle et la participation collective.

3.2 Dossier patient

3.2.1 Cardinalité

Cette dimension fait référence au nombre de dossiers patients que l'application peut afficher sur la même vue. Les valeurs pertinentes que nous avons trouvées dans les systèmes étudiés pour cette dimension sont un seul dossier [154–157, 159–161], plusieurs dossiers [162–164] ou mixte en pouvant choisir entre les deux modes de visualisation [158, 165]. Il n'est pas important de connaître le nombre de dossiers patients dans le cas de dossiers multiple. L'important est juste de connaître la pluralité car elle suffit pour détecter que la visualisation doit permettre l'analyse de patients similaires ou l'étude d'un phénomène. Si le système ne fournit

qu'un seul dossier de santé, la visualisation concerne principalement la prestation des soins de santé pour afficher les différentes facettes du dossier de santé : allergies, problèmes, traitements, etc. Ce choix est donc étroitement lié au but de la visualisation. La cardinalité est considérée comme une dimension principale car elle influence grandement les choix des autres dimensions.

3.2.2 Dimension

Nous nous référons ici à la dimension des données dans le dossier patient. Pour les valeurs, nous utilisons la taxonomie de différents types de dimensions de données définies dans [166] : une dimension, n-dimension, temporelle, arbre et réseau. La dimension unique est utilisée lorsque les données sont linéaires (par exemple pour des notes) [155, 156, 158]. Les données peuvent parfois avoir plusieurs attributs, chaque attribut représentant une dimension. Les données temporelles sont largement utilisées dans la visualisation des dossiers patients lorsque les événements produits sont représentés dans le temps [154–157, 159, 160, 164]. Les données peuvent également être sous forme d'un arbre [159]. Cependant, les données ne peuvent parfois pas être structurées sous forme d'un arbre car les relations sont beaucoup plus complexes, comme les relations entre les antécédents et les médicaments, elles prennent alors la structure d'un réseau [162].

3.2.3 Type de données

Lorsque nous travaillons sur un dossier patient, il est important de distinguer entre les différents types de données à visualiser. Selon le type de données, la représentation de l'information peut varier. Il existe deux types [167] : les données qualitatives et les données quantitatives. Les données qualitatives utilisent des mots pour décrire un événement lié à la santé comme les antécédents médicaux (diabète, asthme, hypertension). Les données quantitatives, quant à elles, utilisent des nombres comme les signes vitaux (rythme cardiaque, température, etc.). Tous les systèmes examinés utilisent des données qualitatives et quantitatives.

3.2.4 Nombre de variables

L'interface du dossier patient électronique peut afficher peu de variables, plusieurs variables ou toutes les variables. Par exemple, l'utilisateur peut se concentrer sur peu de variables en détail pour analyser le cas du patient. Dans d'autres cas, l'utilisateur a besoin de plusieurs ou toutes les variables selon le contexte. En conséquence, le concepteur doit prendre en compte le nombre de variables à visualiser pour éviter d'encombrer l'interface. La plupart des systèmes affichent plusieurs variables comme [156, 158, 160, 161] mais certains systèmes affichent peu de variables, en particulier des systèmes prenant en charge plusieurs dossiers patients [162–164]. Lorsque l'application est destinée à tous les utilisateurs, elle contient toutes les variables telles que [154, 155, 157, 158, 165].

3.2.5 Niveau

Une donnée peut être interprétée à différents niveaux d'abstraction. Dans l'espace de conception, on distingue le bas niveau qui représente les données sans interpré-

tation (ex. la température du patient est de 40°) et le haut niveau qui donne à la donnée une interprétation (ex. avec la donnée de la température, on peut dire si le patient a de la fièvre).

Une simple observation du dossier patient ou une analyse approfondie change le niveau demandé. D'autres sous-dimensions de l'espace influencent le niveau, tel que « cible » ou « tâche ». S'il existe plusieurs cibles ou tâches pour la même vue, une solution simple consiste à fournir des données de haut niveau et à rendre les données de bas niveau facilement accessibles à la demande depuis l'interface. Tous les systèmes examinés donnent à la fois un aperçu de haut niveau et un aperçu de bas niveau pour plus de détails.

3.3 Technologie

3.3.1 Taille de l'écran

En fonction du contexte, la taille de l'écran peut varier. Lors des interviews, les docteurs ont indiqué qu'ils préfèrent un grand écran lorsqu'ils se trouvent dans leur bureau mais ils préfèrent un écran plus petit s'il est accessible plus rapidement avec le stress qu'il peut y avoir autour. D'une part, un grand écran peut aider lorsque la tâche est complexe et que l'utilisateur doit l'exécuter rapidement [168]. D'autre part, un petit écran offre un accès à l'information à n'importe quel moment et n'importe quel endroit. Le concepteur doit donc trouver des solutions pour optimiser l'utilisation de l'écran en fonction du contexte, choisir la technique de visualisation appropriée et prévoir les interactions adaptées.

3.3.2 Nombre d'écrans

Déterminer le nombre d'écrans pour la visualisation fait partie des choix du concepteur et il doit être conscient des différentes possibilités. Ce choix est influencé par les sous-dimensions «usage», «adaptation» et «sensibilité au contexte». Avec plusieurs écrans, nous pouvons faciliter l'utilisation collective et afficher plus d'informations en les partageant sur les différents écrans. Chaque vue de l'information pourra également être différente en fonction des besoins et des utilisateurs. Les écrans peuvent être de différentes tailles. Par exemple, le deuxième écran peut servir au médecin comme d'une extension d'affichage. Le médecin peut glisser l'imagerie radio du dossier patient disponible sur son téléphone (un petit écran) en l'affichant sur un grand écran dans la salle de soins pour la voir en détails.

Cette dimension est incluse dans notre espace de conception pour permettre à l'utilisateur d'avoir plusieurs écrans en fonction du contexte et de basculer entre eux. Au cours des interviews, les docteurs veulent à tout moment l'affichage le plus adaptatif possible, par exemple, un grand dans leur bureau et un petit dans un contexte de mobilité. De plus, avec plusieurs affichages, on favorise l'utilisation collective puisqu'on pourra afficher plus d'informations en les divisant sur différents écrans. Aucun des systèmes étudiés ne propose plusieurs écrans ce qui réduit les possibilités d'adaptation au contexte.

3.3.3 Qualité d'image

Lors des interviews, les docteurs affirment avoir besoin d'images (notamment radio) sur les systèmes DPE. Nous avons donc introduit une dimension sur la qualité d'images et l'avons décomposée en trois facteurs, définis dans [169], afin d'optimiser la qualité de la visualisation pour un radiologue : résolution, contraste et luminance. La résolution de l'écran est caractérisée par le nombre de pixels qu'il contient. Plus la résolution est élevée, meilleure est la visualisation. La même résolution n'offre pas la même qualité sur un petit ou un grand écran. Pour l'imagerie médicale, par exemple, le médecin a besoin d'une image haute résolution [169]. Un écran avec une haute résolution peut afficher plus d'informations clairement visibles par rapport à un écran basse résolution. Quant au contraste et à la luminance, ils influent sur l'interface de l'utilisateur. Par conséquent, ces paramètres doivent être ajustés de sorte que l'utilisateur puisse voir plus de détails facilement.

3.3.4 Type de dispositif

Il existe plusieurs dispositifs disponibles pour la visualisation des dossiers patients et le choix peut être stratégique en fonction du niveau d'adaptation requis. Le plus courant est l'ordinateur de bureau, ce qui peut être efficace dans certaines situations, mais cela ne convient pas lorsque le docteur doit rendre visite à des patients dans leur chambre. Dans ce cas, par exemple, nous pouvons trouver un écran exposé dans la chambre mais son utilisation reste limitée car l'affichage des informations du patient dans des zones ouvertes est interdit. Des dispositifs mobiles sont également disponibles et peuvent aider l'utilisateur tout en se déplaçant, même en dehors de l'hôpital. Ils peuvent être dans la poche comme des téléphones ou portés comme un visiocasque ou des lunettes électroniques. Ceux-ci peuvent être utilisés tout en laissant les mains libres, ce qui est utile lors de l'examen d'un patient ou lors d'une intervention chirurgicale en gardant une visualisation privée du dossier médical. Dans les systèmes mentionnés, une interface web était souvent développée sur des ordinateurs de bureau [154, 157, 159, 163–165]. On peut trouver des systèmes sur des tablettes [155, 156, 161, 161], sur un smartphone [160, 162] ou sur un grand écran mural [158].

3.4 Localisation

Idéalement, le dossier patient devrait être accessible n'importe où : dans la chambre du patient, dans une salle de soins, dans le bureau, dans d'autres milieux cliniques, dans la maison, dans un bâtiment public ou à l'extérieur. L'emplacement a une relation avec d'autres dimensions. Par exemple, si l'utilisateur est à l'extérieur, le système doit équilibrer la luminance pour permettre la lecture. Le concepteur doit prendre en compte la dimension de la localisation pour s'assurer que la visualisation du dossier patient sera accessible. Pour les systèmes examinés conçues pour les ordinateurs de bureau, ils sont utilisés au bureau, mais pas en situation de mobilité. Toutefois, les systèmes développés sur des tablettes ou des smartphones peuvent être utilisés n'importe où.

3.5 Temps

La dimension temporelle du dossier patient est caractérisée par la consultation avec le patient. Cela peut être avant, pendant ou après la consultation. Avant, le docteur peut se préparer en explorant le dossier patient, il peut être accompagné ou seul. Il sera plus à l'aise s'il visualise le dossier patient dans son bureau. Pendant la consultation, le médecin est avec son patient, l'interface ne doit donc pas le distraire ni interrompre sa relation avec son patient. Il doit être mobile s'il rend visite au patient dans sa chambre. Enfin, après la consultation, le dossier patient peut être utilisé pour évaluer la qualité des soins. Nous remarquons que le temps est lié à d'autres dimensions. Par exemple, utiliser un ordinateur de bureau lors d'une consultation n'est pas forcément un bon choix de conception. Les systèmes examinés n'instancient pas tous cette dimension temporelle avec la même valeur : [155] propose une tâche de visite clinique (donc temps = avant la consultation) alors que [165] est prévu pour les tournées quotidiennes (donc temps = pendant la consultation).

3.6 Objectif

3.6.1 Tâche

La visualisation des dossiers patients joue un rôle important pour différents types de tâches. On distingue dans l'espace de conception cinq types de tâches : explorer les données médicales, prendre une décision, évaluer les soins, faire des statistiques ou faire une tâche non-médicale. La tâche est exploratoire lorsque l'utilisateur ne sait pas s'il recherche un problème ou un traitement existant dans le dossier. Le médecin peut aussi consulter le dossier patient pour prendre des décisions : prescrire des médicaments, analyser ou élaborer un plan de traitement. Le dossier patient permet d'effectuer d'autres tâches médicales telle que l'évaluation des soins en comparant l'état de santé d'un patient avant et après les soins. La visualisation du dossier peut avoir un rôle complètement différent selon qui l'utilise [170]. Par exemple, un centre de statistiques peut vouloir mener une étude comme l'identification du taux de cancer dans un hôpital ou un service juridique peut vouloir accéder au dossier pour identifier le responsable des soins délivrés. La visualisation des données pour les systèmes étudiés semble dépendre de la sous-catégorie "cardinalité". En effet, les systèmes prenant en charge un seul dossier patient [154–161, 165] sont conçus pour explorer les données, prendre des décisions et évaluer les soins. Alors que ceux qui prennent en charge plusieurs dossiers [162–164] sont conçus pour faire des statistiques.

3.6.2 Cas d'utilisation

Afin de mieux comprendre l'utilité du dossier patient et de concevoir les interactions effectuées par l'utilisateur, il est préférable de faire la distinction entre les différents cas d'utilisation. Notre dimension de cas d'utilisation est basée sur les quatre scénarios issus de [144] utilisés pour définir les exigences conceptuelles, les fonctionnalités principales et également pour évaluer l'interface du dossier patient : épisode aigu, traitements chroniques, activités de prévention et symptômes indifférenciés. Lors d'épisodes aigus où la blessure ou la maladie est très grave, telle

qu'une hospitalisation ou une urgence, un suivi précis est requis sur de courtes périodes. Dans les traitements chroniques qui durent longtemps, le patient nécessite une surveillance et une évaluation régulières des traitements pris pour éviter les complications. Les activités de prévention contribuent à la santé des personnes par le biais de tests préventifs ou d'immunisations. Enfin, pour les symptômes indifférenciés, il existe une aide à la décision clinique par laquelle le médecin évalue les symptômes du patient avec son dossier afin de prendre une décision concernant le diagnostic. Ces cas d'utilisation peuvent servir de point de départ pour relier les tâches du professionnel de santé au contenu de l'interface et à l'interaction appropriée. Certains systèmes sont conçus pour tous les cas d'utilisation tel que [154, 157] mais d'autres sont conçus pour des cas d'utilisation spécifiques tels que [156, 158] pour les traitements chroniques et [161, 163] pour des épisodes aigus.

3.6.3 Fonctionnalités

Lors de la phase de conception, le concepteur doit identifier les fonctionnalités devant exister dans l'interface afin de mieux aider les utilisateurs à effectuer leurs tâches. Sur la base des interviews avec les docteurs et l'analyse des systèmes DPEs existants, nous proposons six fonctionnalités : contenu multimédia [154, 157], standards de code médical [162, 163], alertes et notifications [154, 155, 157, 158, 165], statistiques (dans les systèmes prenant en charge plusieurs dossiers de santé [162–164]), communication, recommandations de soins (interviews). Avec l'évolution de la télémédecine, un dossier patient peut contenir un contenu multimédia. Le contenu multimédia peut inclure de l'audio ou un autre type de diagrammes ou d'images pertinentes dans certaines situations. Au cours des interviews, les docteurs ont jugé pertinent de disposer de données sous un format autre que du texte, tel qu'une image (radio, par exemple). Il est également intéressant que l'interface contienne des informations tirées de normes médicales : problèmes, traitements et médicaments, telles que le standard ICD (International Classification of Diseases), afin de faciliter la recherche en santé publique, de partager et d'analyser facilement les statistiques. Les docteurs interrogés trouveraient vraiment pertinent si le système DPE pouvait les aider à contacter d'autres collègues. La messagerie ou la vidéoconférence pourrait promouvoir le travail en collaboration et améliorer le diagnostic. Cependant, aucun système ne fournit de recommandations de diagnostic, d'informations supplémentaires ou permet à l'utilisateur de communiquer avec un autre clinicien via l'interface. De plus, l'utilisateur pourrait bénéficier d'alertes et de notifications pour éviter les erreurs et recevoir les informations pertinentes. Les docteurs ont été particulièrement intéressés par cette fonctionnalité lors des interviews.

Partant du constat qu'en milieu hospitalier les internes sont des étudiants en médecine, disposer d'outils pédagogiques pour les aider à réaliser leurs tâches médicales serait certainement un atout. Dans le chapitre précédent, les lunettes électroniques sont utilisés pour la pédagogie. Nous avons donc ajouté une fonctionnalité supplémentaire : l'outil pédagogique.

3.7 Interaction en entrée

3.7.1 Canal

Le canal peut être classé en trois groupes [171] : audio, visuel, haptique. Le canal est directement lié au dispositif (ex. canal audio, dispositif microphone). Le système de visualisation peut disposer de plusieurs canaux. Par exemple, pour naviguer dans le dossier patient, l'utilisateur peut utiliser des commandes vocales (canal audio) ou en touchant la surface tactile du dispositif (canal haptique). Pour les systèmes examinés, seul le canal haptique est utilisé.

3.7.2 Intention

Cette dimension se concentre sur ce que l'utilisateur veut réaliser. Nous utilisons le modèle proposé par [172] qui contient sept catégories générales car il correspond à tous les systèmes examinés précédemment :

1. Sélectionner : quand il y a beaucoup d'informations dans un dossier patient, l'utilisateur peut sélectionner une information comme intéressante avec une variable visuelle distinctive.
2. Explorer : visualiser une autre partie du dossier quand une partie est accessible à un moment donné.
3. Reconfigurer : changer l'emplacement des informations ou d'autres ajustements.
4. Encoder : changer la façon dont les informations sont représentées.
5. Résumer/ Elaborer : montrer plus ou moins de détails sur une information.
6. Filtrer : changer le contenu affiché sous certaines conditions.
7. Connecter : mettre en évidence les informations pertinentes qui sont cachées et montrer les relations entre les informations.

Parmi les systèmes étudiés, seuls [154, 155, 162] proposent la catégorie «Connecter». Pourtant, elle peut aider les utilisateurs à prendre des décisions.

3.8 Visualisation

3.8.1 Technique

Quand il y a plusieurs informations du dossier patient, son contenu est trop grand pour le représenter sur la même vue. Pour surmonter ce problème, il existe deux techniques [173] : la technique de non-distorsion et la technique de distorsion. La technique de non-distorsion permet d'afficher une partie de l'information et d'accéder au reste avec un défilement ou une pagination. La bonne pratique est de bien représenter l'information et la diviser en plusieurs parties pour faciliter la navigation de l'utilisateur dans le dossier. Avec la technique de distorsion ou déformation, nous avons simultanément une vue locale avec un niveau élevé de détails et une

vue globale du contexte avec moins de détails. Cette technique contient également plusieurs types de déformations. Le rôle du concepteur est d'examiner les avantages intéressants pour les techniques de distorsion et non-distorsion pour visualiser un dossier patient dans une situation donnée. Par exemple sur un petit écran dans une situation de mobilité, si le concepteur utilise des fenêtres avec pagination, l'utilisateur risque de se perdre dans la navigation du dossier patient qui contient trop d'informations.

Tous les systèmes examinés utilisent la technique de non-distorsion. Pour accéder à une partie non visible de l'interface, les systèmes proposent soit un défilement [159], soit un zoom [154, 156], soit une nouvelle fenêtre [163], soit masquer des informations [158, 161].

3.8.2 Représentation

Il existe plusieurs façons de représenter une information dans un dossier patient, mais la représentation fréquente sur les systèmes DPEs est sous forme de feuilles de calcul ou des tableaux avec des graphiques qui contiennent les données du dossier patient patient [146]. D'autres systèmes ont utilisé la métaphore de la frise chronologique pour ordonner temporellement les évènements qui se produisent pour un patient.

La représentation dépend de l'information à afficher : sa complexité, sa taille et d'autres caractéristiques. Mais il existe parfois beaucoup de représentations possibles pour la même information. Le défi est donc de choisir la meilleure. Afficher les variations de pression systolique d'un patient dans un tableau ou sur un graphe sont deux possibilités, mais il faut trouver laquelle est plus compréhensible dans la situation donnée.

La complexité de la représentation augmente le temps d'apprentissage s'il n'est pas facile d'expliquer facilement la représentation. William Playfair [174] qui est le premier à avoir utilisé des graphiques (barres, lignes, camemberts) considère qu'avec une représentation graphique de données le lecteur peut mieux comprendre et conserver l'information [175]. Lors des interviews, les docteurs confirment ce point de vue. La métaphore de la frise chronologique est la représentation la plus utilisée, comme dans pratiquement tous les systèmes examinés. Tous les systèmes utilisent des graphiques pour représenter des données quantitatives et parfois des images sont utilisées pour l'imagerie médicale. [157] utilise une représentation différente, le corps humain sous forme de carte 2D sur laquelle il est possible de zoomer pour plus de détails.

3.8.3 Variables visuelles

La visualisation d'un dossier patient repose fortement sur l'utilisation de variables visuelles. Jacques Bertin [176] a identifié sept variables visuelles qui peuvent être manipulées pour coder l'information : la position (l'emplacement sur la vue), la taille (la surface, la longueur, la largeur), la forme (cercles, carrés, rectangles, symboles, etc.), la couleur (la teinte : bleu, rouge, vert), la transparence (clair à foncé), l'orientation (l'alignement) et la texture (motif du remplissage de la forme). Dans le processus de conception, l'utilisation appropriée de ces variables est un élément

clé pour bien interpréter, comprendre puis utiliser l'information visualisée [147]. Par exemple, les valeurs du cholestérol peuvent être encodées par des couleurs qui signifient la catégorie du risque, le vert pour un risque faible, l'orange pour un risque intermédiaire et le rouge pour un risque élevé.

Dans les systèmes examinés, la couleur, la transparence, la taille, la forme et la position ont été utilisées pour coder les informations. La position était présente dans tous les systèmes organisant les informations dans le temps. La taille est beaucoup plus utilisée pour les données quantitatives telles que les graphiques à des fins de comparaison. La couleur est largement utilisée dans les systèmes pour mettre en évidence la catégorie de l'information [154], des informations connexes [155], des informations critiques telles que des allergies ou des alertes [156, 165], des résultats de test anormaux [157] ou une combinaison de maladies [163]. La transparence est utilisée quant à elle pour montrer les différentes doses d'un médicament [154] ou pour indiquer l'état du patient [158]. Pour la forme, elle est utilisée pour différencier les données qualitatives et les données quantitatives [161]. Concernant la texture, certaines informations sont codées par des rectangles remplis en fonction de leur valeur. Les croix indiquent des données manquantes [164].

3.8.4 Adaptation

Une interface utilisateur adaptative est une interface utilisateur qui modifie sa disposition et ses éléments en fonction des besoins de l'utilisateur ou du contexte [177]. Les types d'utilisateurs d'une application de visualisation d'un dossier patient ont des connaissances différentes et la situation d'utilisation est également différente. Le domaine de la santé est un domaine important où les interfaces utilisateur adaptables peuvent être d'une grande utilité [178]. Il existe deux techniques principales pour l'adaptation : la présentation adaptative qui adapte le contenu visualisé par l'utilisateur selon la situation et le contexte, et la navigation adaptative qui différencie la manière d'interagir avec l'interface dans des situations différentes. Aucun système examiné n'a pris en compte cette dimension de notre espace de conception. Pendant les interviews, les docteurs rapportent qu'une adaptation bien faite pourrait les aider à prendre des décisions.

3.8.5 Sensibilité au contexte

L'adaptation de l'interface utilisateur peut être améliorée en sélectionnant soigneusement les facteurs contextuels. Le défi consiste donc à pouvoir afficher les informations de santé adéquates avec une représentation adéquate en fonction de la situation contextuelle actuelle. La sensibilité au contexte est un axe prometteur dans le domaine de la santé [179]. Il peut améliorer la performance des tâches des professionnels de santé et améliorer la qualité de la prestation de leurs soins [180]. Nous définissons un ensemble de facteurs non exhaustifs de contextes qui peuvent être introduits pour la visualisation d'un dossier patient : l'utilisateur, le dossier patient, la technologie, la localisation, le temps et l'objectif. Comme les systèmes examinés ne tiennent pas compte de la sous-dimension « adaptation », ils ne gèrent pas gérer la sensibilité au contexte.

4 Justification conceptuelle

L'espace de conception que nous avons développé offre des choix pour la conception d'une interface de dossiers patient. Une justification explicite des raisons de chaque choix est requise. L'analyse de l'espace de conception (DSA, Design Space Analysis) est une approche permettant de représenter la justification et l'argumentation de la conception [181]. Il est utile de comprendre pourquoi certaines possibilités ont été choisies lors de la conception et de clarifier le raisonnement [182] . Il est basée sur la notation QOC qui définit ces trois concepts principaux : Questions, Options, Critères [138]. Des questions sont posées pour dessiner les sous-catégories des différentes dimensions existantes dans notre espace de conception. Les options sont les choix possibles pour chaque sous-catégorie et les critères sont les justifications, les exigences et les considérations à prendre en compte lors du choix. Le critère peut être positif pour une option et négatif pour une autre.

Cette approche permettra au concepteur d'expliquer les différentes combinaisons des possibilités sélectionnées lors de la conception. La figure 2.2 montre une notation QOC qui nous permet de choisir entre une utilisation individuelle ou collective. Dans ce cas, nous avons défini deux critères : la flexibilité (qui a une évaluation positive pour un usage individuel et une évaluation négative pour un usage collectif) et la collaboration (qui a une évaluation positive pour un usage collectif et une évaluation négative pour un usage individuel). Si le concepteur juge que la flexibilité est plus importante que la collaboration, il choisit un usage individuel. À partir de cette décision plusieurs questions peuvent se poser pour des décisions ultérieures.

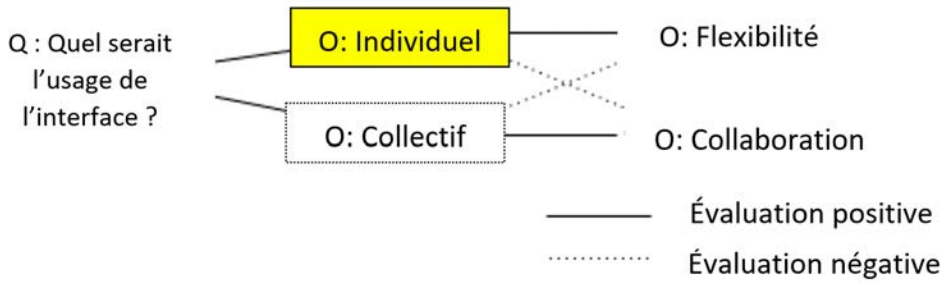


Figure 2.2 : La représentation QOC pour la sous-catégorie : usage. L'option encadrée est la décision prise.

Les choix dans notre espace de conception sont parfois exclusifs (noté par une étoile dans le tableau 2.2 de l'espace de conception). L'utilisateur est donc amené à choisir une seule possibilité comme l'exemple de la figure 2.2. Mais dans les autres cas l'utilisateur peut choisir plusieurs possibilités car le choix n'est pas exclusif.

Lorsque le concepteur prend une décision et choisit une possibilité, d'autres possibilités sont automatiquement éliminées, ce qui permet d'affiner la solution. Nous avons également mentionné aussi, que certaines sous-catégories sont fortement liées. La sélection d'une possibilité dans une sous-catégorie élimine même les autres possibilités des autres sous-catégories et facilite donc les choix de conception.

5 Utilisation de l'espace de conception

Dans cette section, nous fournissons un exemple qui explique comment notre espace de conception peut être utilisé pour la conception d'interfaces de dossiers patients. C'est une conception d'une interface de dossier patient sur les lunettes électroniques.

L'épouse de Paul est admise aux soins intensifs à l'hôpital en détresse respiratoire aiguë avec des saignements gastro-intestinaux inférieurs et supérieurs. Ses antécédents médicaux sont signes d'une maladie du foie en phase terminale due à un abus d'alcool. Elle est intubée suite à l'aggravation de la détresse respiratoire, réanimée de manière agressive, transfusée et a reçu des vasopresseurs.

Paul est très inquiet pour sa femme. Compte tenu du cas complexe de sa femme, plusieurs docteurs interviennent sur son cas : pneumologue, gastro-entérologue, radiologue, intensiviste, etc. Il remarque que les docteurs vérifient parfois leurs ordinateurs de bureau quelques minutes avant leur arrivée, et parfois ils ne se souviennent même pas d'informations qui peuvent être d'une importance cruciale.

Paul travaille en tant que "concepteur de nouvelles solutions technologiques" et souhaite exposer ce problème à son équipe de travail afin de trouver une solution et lancer un nouveau produit. Il souhaite utiliser notre espace de conception pour faciliter son travail. Il commence à écrire sa proposition en fonction des différentes dimensions avec leurs sous-catégories (cf. Tableau 2.3).

"Notre objectif est de créer une interface de dossier patient pour aider différents docteurs (cible). Ce système les aidera à explorer le dossier patient, à évaluer les soins fournis ou à prendre une décision (tâche). L'interface a pour objectif d'aider les patients hospitalisés en soins intensifs en épisode aigu (cas d'utilisation). La période d'hospitalisation d'un patient est une période qui nécessite précision et rapidité dans la prestation des services et des soins.

Habituellement, le docteur consulte son ordinateur de bureau avant de faire sa tournée. Cette technologie est inadéquate dans ce cas d'utilisation pour plusieurs raisons : le docteur ne dispose pas des bonnes informations au bon endroit et au bon moment. Les informations pertinentes ne lui sont pas exposées au moment de la consultation. Il doit avoir le dossier patient au moment de la consultation (temps) dans la chambre du patient (localisation). De plus, il ne doit pas faire des aller-retours vers son bureau.

Les technologies mobiles telles que les tablettes et les smartphones peuvent résoudre ce problème mais avec une efficacité moindre. Ils ne respectent pas la perturbation de l'activité et le docteur ne peut pas garder l'œil sur le dossier et le patient en même temps. Une technologie telle que les lunettes électroniques a beaucoup de potentiel dans le travail du docteur (type de dispositif, taille de l'écran). Chaque docteur peut disposer de lunettes individuelles (nombre d'écrans, usage) pour accéder au dossier du patient sur lequel il interviendra (Cardinalité).

Avec la petite taille de l'écran des lunettes, la technique de non-distorsion est moins efficace pour visualiser un dossier patient complet. En effet, puisqu'il ne fournit pas une vue globale du contexte, l'utilisateur peut être perdu pendant la navigation (technique). Une technique de distorsion afficherait simultanément une partie locale avec des détails et une partie globale avec moins de précision. Les

informations affichées sur une vue globale sont de haut niveau sous forme de résumé et à la demande de l'utilisateur, il peut accéder à plus de détails sur les informations de bas niveau (niveau).

En plus des tableaux avec du texte, des graphiques seront inclus pour faciliter l'interprétation de certaines informations et permettre des comparaisons (représentation). Les graphiques seront choisis en fonction de la taille et du type de l'information. Dans un dossier patient, plusieurs variables sont considérées (nombre de variables) ayant différentes dimensions (une dimension, n-dimensions, dimension temporelle) : dossiers médicaux, diagnostics, médicaments et signes vitaux (qualitatifs et quantitatifs). Nous pouvons même considérer la structure de dossiers comme un réseau et relier les différentes informations disponibles. Nous identifions clairement ces dimensions et types pour savoir quelle représentation éviter, et sélectionner les plus pertinentes (dimension, type de données).

Nous prenons en compte les couleurs pour montrer la gravité d'un problème et plaçons les informations au bon endroit avec différentes tailles pour les afficher de manière significative (variables visuelles). Pour aider l'utilisateur à accomplir ses tâches, nous incluons des standards de code médical (traitements, médicaments, etc.) et un contenu multimédia (imagerie médicale) afin de maintenir une compréhension précise pour toutes les parties prenantes et des alertes pour rappeler aux infirmières les médicaments et les doses. En outre, le docteur peut communiquer avec un autre prestataire de soins pour mieux s'informer (fonctionnalités). Il doit avoir une bonne résolution, luminance et contraste et pour pouvoir visualiser les graphiques et l'imagerie médicale (qualité d'image).

Les utilisateurs peuvent interagir avec l'interface en utilisant la reconnaissance vocale, un trackpad ou des gestes selon la tâche qu'ils effectuent (canal, adaptation). Outre les fonctions de base de sélection, d'exploration, l'utilisateur peut reconfigurer l'interface en modifiant le type de représentation de l'information si cela lui semble plus significatif. Il peut également connecter différentes informations en mettant en évidence des informations connexes lorsqu'il pointe une information donnée (intention).

Pour afficher la bonne information au bon endroit pour la bonne personne, l'interface doit être adaptative et prendre en compte des informations contextuelles telles que le profil de l'utilisateur. Les informations affichées pour un neurologue ne sont pas les mêmes que pour un néphrologue ou une infirmière. Ensuite, il tiendra compte de son emplacement à l'hôpital car les patients de l'hôpital sont dans des salles différentes. Le contenu du dossier modifie l'interface, par exemple, la position des tests médicaux n'est pas la même pour chaque dossier patient (sensibilité au contexte et adaptation)."

Paul a imaginé la conception d'une interface de dossier patient futuriste basée sur les principes de notre espace de conception et était capable de tester le système avec beaucoup de succès.

Tableau 2.3 : Tableau récapitulatif des choix de Paul parmi les valeurs de l'espace de conception.

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			
	Niveau	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 de patient	Salle de soins	Bureau	Autres milieux cliniques	Maison	Bâtiment public	Extérieur
When ? TEMPS		Avant la consultation	Durant la consultation	Après la consultation			
Why? OBJECTIF	**Tâche**	Explorer les données médicales	Prendre une décision	Evaluer les soins	Faire des statistiques	Faire une tâche non-médicale	
	Cas d'utilisation	Episode 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	Visuel	Haptique			
	Intention	Sélectionner	Explorer	Reconfigurer	Encoder	Résumer/ Elaborer	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	Utilisateur	Dossier patient	Technologie	Localisation	Temps	Objectif

Dimension / sous dimension
Valeur choisie

6 Discussion et limitations

Il est intéressant de noter que beaucoup des systèmes que nous avons examinés ne répondaient pas aux critères des 8 dimensions de notre espace de conception. La plupart des interfaces de dossiers patients électroniques utilisent la métaphore de la frise chronologique utilisée en premier par LifeLine [154]. Notre espace de conception a permis de montrer les lacunes des systèmes existants. Les systèmes que nous avons examinés 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. Fournir des informations et des interactions en fonction de la situation de l'utilisateur à l'aide de facteurs contextuels peut être une solution pour améliorer l'expérience utilisateur.

Le scénario de conception illustre un exemple d'une interface futuriste, où chaque dimension de notre espace de conception est traitée. Lors de la prise en compte de chaque dimension, il est prévu que l'utilisateur bénéficie d'une expérience utilisateur améliorée. Le problème de la conception des interfaces de dossiers patients électroniques est loin d'être résolu et nécessite une attention toute particulière. Nous espérons que le concepteur s'appuiera sur notre espace de conception pour trouver des solutions aux problèmes et aux lacunes que nous avons mentionnés.

Notre espace de conception est cohérent, car il répond aux questions de visualisation des dossiers patients à l'aide de la méthode 5W1H. Nous notons qu'il existe des combinaisons impossibles dans l'espace de conception. Cela peut donner une perspective d'un travail futur pour analyser toutes ces combinaisons.

Certaines dimensions peuvent elle-même faire l'objet d'un espace de conception. Par exemple : (1) la dimension « Technique » peut inclure les espaces de classification existants des techniques de visualisation : multiplexage temporel, spatial ou en profondeur, Vue Globale+Détails, Focus+Contexte. (2) la dimension « Interaction en entrée » peut inclure les taxonomies sur les modalités d'interaction en entrée.

Nous sommes conscients que l'évolution de la recherche et de la technologie peut introduire d'autres dimensions en trouvant de nouvelles idées. Notre espace de conception est donc extensible. Il traite une seule technique d'interaction en sortie, la visualisation, mais d'autres techniques d'interaction en sortie peuvent y être intégrées. Nous soulignons que nous n'avons interrogé que des médecins de l'unité de soins intensifs, même si nous avons pris en compte d'autres utilisateurs cibles dans notre espace de conception.

7 Conclusion et perspectives

La visualisation des dossiers patients électroniques est une question complexe qui a intéressé de nombreux groupes de recherche. Grâce à notre espace de conception, nous avons construit une base solide et contribuons à la mise en œuvre de nouveaux systèmes de visualisation de dossiers patients qui peuvent être novateurs si toutes les dimensions sont soigneusement explorées et étudiées. Nous pensons que les huit dimensions identifiées seront utiles avec leurs sous-catégories.

L'espace de conception aide les concepteurs à choisir entre les différentes possibilités disponibles. En tant que chercheurs, il nous sert également d'outil pour identifier les lacunes dans les systèmes des dossiers patients en tant que potentiel pour des travaux futurs en observant des combinaisons de possibilités qui n'ont pas encore été mises en œuvre dans la littérature.

Pour améliorer notre espace de conception, il est important de mener des interviews avec d'autres utilisateurs cibles (personnels médical, personnel administratif, etc.). Une autre direction est l'intégration de différents types d'interaction en sortie.

Dans la suite, nous nous intéressons particulièrement à une interface de dossiers patient dans un contexte mobile. Nous allons nous appuyer sur l'espace de conception pour concevoir un prototype de visualisation de dossiers patients sur les lunettes électroniques dans les soins intensifs.

Publications liées à ce chapitre

[183] Belkacem, I., Pecci, I., & Martin, B. (2017, August). Exploring a design space for electronic health record visualization. In Proceedings of the 29th Conference on l'Interaction Homme-Machine (pp. 325-334). ACM.

Chapitre 3

Visualisation de données médicales pour les soins intensifs

***

La bonne conception ressemble
beaucoup à une pensée claire
rendue visible.
Edward Tufte

Sommaire

1 Introduction 73
2 Techniques de visualisation : un tour d'horizon 74
3 Notre approche : K-Fisheye 80
4 Conception du système mCAREglass 84
5 Étude expérimentale de mCAREglass 92
6 Résultats 95
7 Discussion 100
8 Conclusion et perspectives 100

1 Introduction

Ce chapitre est dédié à la visualisation de dossiers patients sur les lunettes électroniques pour le service des soins intensifs. Une ergonomie, une interface conviviale et un confort visuel doivent être apportés sur les lunettes pour réduire au maximum le temps et l'effort fournis par les professionnels de santé lors de la navigation.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons au concept de tuiles [184], car il permet la création d'une interface utilisateur personnalisée avec une grande flexibilité [185]. En cours d'utilisation, s'il est nécessaire d'apporter des changements pour la présentation des services à l'utilisateur, il est possible d'ajuster la position et la taille des tuiles en fonction des besoins. Les tuiles peuvent contenir les informations fournies par les lunettes électroniques. L'information peut être représentée

par des graphiques, du texte ou d'autres représentations. L'un des atouts des interfaces à tuiles est de pouvoir fournir aux utilisateurs un accès rapide et direct pour lancer des services disponibles à travers le dispositif mobile [184, 185].

Cependant, un grand nombre de tuiles (i.e. informations) engendre quelques problèmes. Tout d'abord, il est très difficile de représenter toutes les tuiles sur un espace limité comme celui des lunettes électroniques : la navigation à travers ces tuiles devient vite complexe. De plus, il est difficile de lier les informations entre elles facilement si toutes les tuiles ne sont pas dans la même vue. Il est important de garder la vue globale des informations et permettre de les faire concorder.

Nous pouvons surmonter ces problèmes avec les différentes techniques qui traitent le problème d'accès à de grands espaces de données sur une surface d'affichage limitée mais une solution efficace est nécessaire. Après une présentation des techniques existantes, nous présentons comment adapter la vue Fisheye pour améliorer le concept des tuiles notamment sur les lunettes électroniques.

Enfin nous montrons comment pourrait être utilisée notre proposition en présentant une application sur les lunettes électroniques pour l'aide à la prise de décision dans un service de soins intensifs avec une visualisation de données en temps réel. La conception de ce prototype s'appuie sur l'espace de conception développé dans le chapitre précédent. L'objectif est d'optimiser le flux de travail dans le service de soins intensifs de manière à réduire considérablement les erreurs de traitements, les événements indésirables chez les patients et à réduire la charge cognitive du praticien. L'utilisation des lunettes électroniques est justifiée par sa capacité à fournir aux praticiens un accès immédiat, portable et mains libres aux données des patients, ce qui permet aux équipes de communiquer et de collaborer plus facilement dans les services des soins intensifs. Notre travail s'appuie sur une étude de terrain menée avec 9 professionnels de santé de l'hôpital d'Illinois de Chicago.

2 Techniques de visualisation : un tour d'horizon

2.1 Techniques de présentation pour les grands espaces de données

Il est plus facile d'explorer un nombre limité d'éléments d'informations sur un grand écran qu'un très grand nombre d'éléments d'informations sur un petit écran. L'utilisateur se retrouve face à différentes difficultés pour localiser un élément donné de l'information, interpréter un élément ou encore faire la relation entre l'élément et d'autres éléments d'information si cet élément ne peut pas être vu dans son contexte [173].

Leung et al. [173] ont examiné différentes solutions pour surmonter ces difficultés. Leur taxonomie classe ces solutions en deux catégories : les techniques de distorsion et de non-distorsion.

2.1.1 Technique de non-distorsion

La technique de non-distorsion ou de non-déformation permet d'afficher une partie de l'information avec une technique pour accéder au reste parmi lesquelles :

1. Le fenêtrage (cf. Figure 3.1.a), technique courante des interfaces graphiques qui permet d'ouvrir plusieurs fenêtres simultanément sur l'écran. Quand il y a plusieurs fenêtres ouvertes, la plupart d'entre elles se chevauchent et sont obscurcies par d'autres fenêtres. Seule la fenêtre active qui apparaît à l'avant de l'affichage est consultable entièrement. Il est nécessaire d'avoir un moyen efficace de présenter plusieurs fenêtres ouvertes [186].

2. La pagination (cf. Figure 3.1.b), technique qui va diviser l'information sur plusieurs pages. Cette technique est utilisée par exemple pour afficher les résultats d'une requête dans un moteur de recherche. L'utilisation de la pagination devient lourde avec un grand nombre de pages et l'absence d'une approche intuitive pour les organiser empêche l'utilisateur de déterminer facilement à quelle page il veut accéder. La bonne pratique est de bien représenter l'information et la diviser sur des portions afin de faciliter la navigation de l'utilisateur dans cet espace de données.

3. La barre de défilement (cf. Figure 3.1.c), qui permet de faire défiler le contenu de la zone d'affichage lorsqu'elle est insuffisante pour afficher l'intégralité du contenu de l'information. Jones et al. [187] ont étudié l'impact des écrans de petite taille sur l'utilisabilité de la tâche d'exploration. Les utilisateurs de petits écrans étaient 50% moins efficaces dans l'achèvement des tâches de navigation. Il est rapporté que les utilisateurs ont effectué un très grand nombre de défilements. Ceci peut être encore plus difficile dans une situation de mobilité. L'étude suggère que les techniques utiles dans un environnement de bureau sur un grand écran tel que le défilement ne sont pas forcément les plus appropriées pour les dispositifs à petit écran.

4. Le zoom, qui permet aux utilisateurs de changer l'échelle de leur vision de l'espace de données en fonction du niveau de détail qu'ils souhaitent voir. Le zoom diffère des techniques de distorsion car il n'y a pas de déformation graphique. Les éléments d'information qui ne tiennent plus dans l'espace agrandi disparaissent [188]. ZoneZoom développé par Robbins et al. [189] (cf. Figure 3.1.d) permet de naviguer dans une carte où l'utilisateur peut presser une touche pour zoomer et se déplacer dans un sous-espace de données. Le zoom est présent maintenant dans tous les dispositifs avec un écran tactile avec la technique Pinch-Drag-Flick.

Les techniques de non-distorsion sont moins efficaces si l'espace de données est très grand. En effet, comme elles ne fournissent pas une vue globale du contexte, l'utilisateur peut être perdu lors de la navigation et cela réduit grandement sa compréhension. L'utilisateur a besoin d'accéder à des données détaillées tout en gardant la vue globale pour une exploration efficace [190]. Pour remédier à ce problème, des techniques orientées distorsion ont été développées et utilisées.

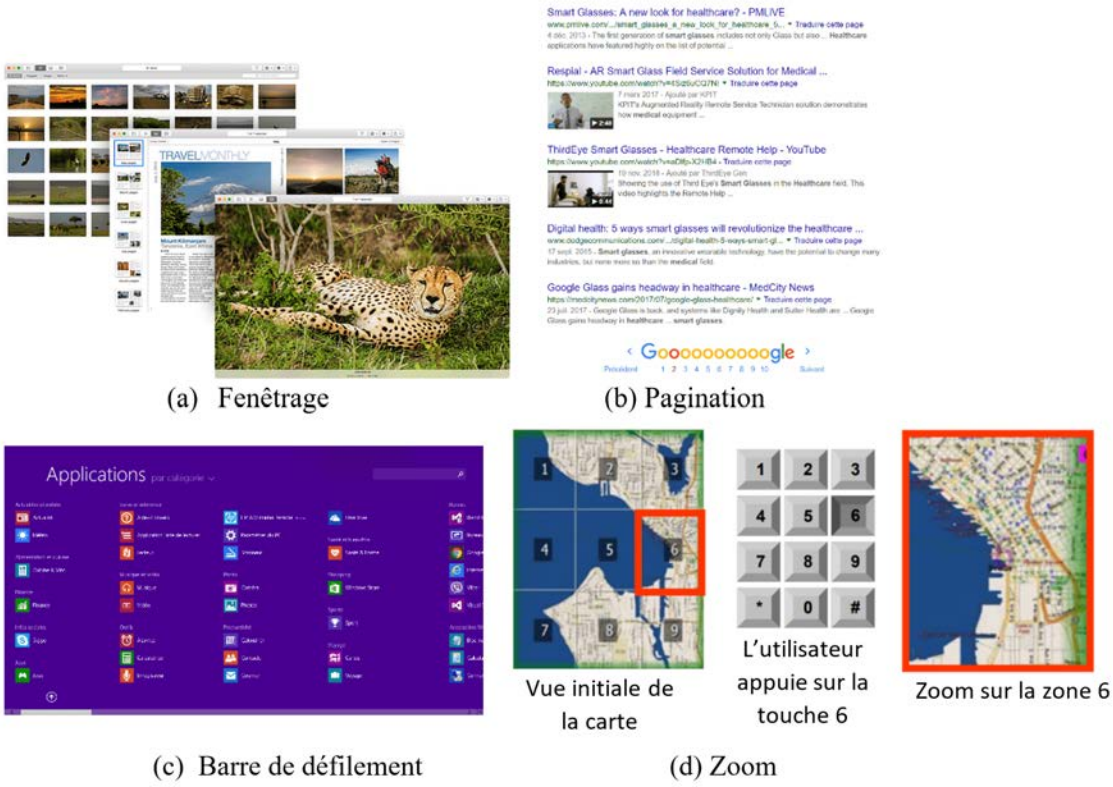


Figure 3.1 : Différents exemples de techniques de non-distorsion.

2.1.2 Technique de distorsion

Cette technique permet à l'utilisateur de visualiser simultanément une partie locale avec un niveau élevé de détails et une vision du contexte global avec moins de détails sur le même écran. Une fonction mathématique de transformation est nécessaire pour créer la vue déformée. Cette fonction est appliquée lorsque l'utilisateur veut afficher une zone en détail. Elle s'accompagne d'une fonction de grossissement : c'est la dérivée de la fonction de transformation. Elle porte sur les facteurs de grossissement appliqués à l'image entière non déformée. Le concept de distorsion ou de déformation a été utilisé par des cartographes dans diverses projections cartographiques (ex. la carte du métro).

Dans cette technique, il existe différents types de déformations qui diffèrent dans leur fonction de transformation :

1. L'affichage polyfocal (cf. Figure 3.2.b), qui grossit la taille de la zone d'un point focal et réduit la taille de la zone entourée. Elle est proposée par Kadmon et Shlomi en 1978 [191] pour la présentation des données statistiques sur une carte avec une mise en œuvre d'un affichage multifocale.

2. L'affichage bifocal (cf. Figure 3.2.c), une technique simple à mettre en œuvre proposé par Spence and Apperley en 1982 [192]. L'inconvénient de cette technique est la discontinuité de grossissement entre la vue détaillée et la vue déformée dans la frontière.

3. La vue œil de poisson ou Fisheye (cf. Figure 3.2.d) proposée par Furnas en 1986 [193] aussi appelée "focus+contexte" est caractérisée par sa fonction de degré d'intérêt qui mesure l'intérêt de chaque information pour la présenter à l'utilisateur. Nous allons détailler cette technique dans la section suivante.

4. Le mur en perspective (cf. Figure 3.2.e) proposé par Mackinlay et al. [194] en 1991, les données sont présentées sur plusieurs panneaux (murs). Le panneau principal en avant présente la vue détaillée et les autres panneaux (généralement 2 autres murs à gauche et droite) présentent le reste de la vue.

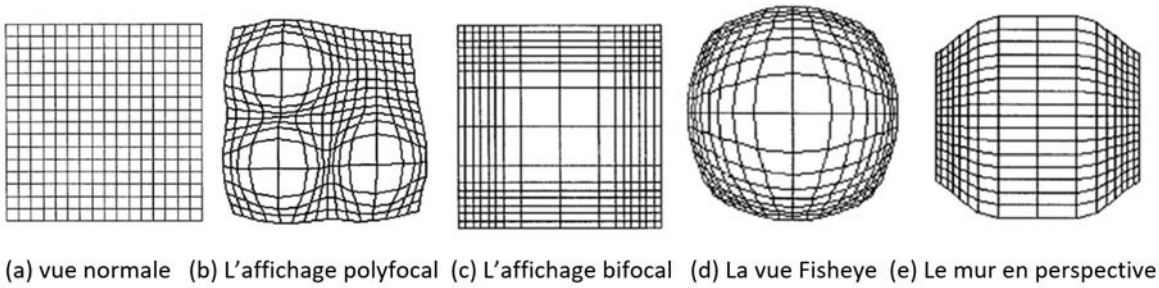


Figure 3.2 : Les différentes techniques de distorsion.

Dans notre contexte d'interfaces à tuiles, nous nous intéressons à la vue Fisheye. Le point fort de cette vue est la fonction de degré d'intérêt qui mesure l'intérêt de chaque information pour la présenter à l'utilisateur. Elle permet de présenter les informations pertinentes en détail et l'information moins pertinente avec moins de détails. Nous allons nous concentrer sur cette technique dans la section suivante.

2.2 La vue Fisheye

Furnas [193] a introduit la vue Fisheye en 1986. Comme les autres techniques de distorsions citées dans la section précédente cette technique permet de donner une vue en détail tout en gardant le contexte général. Cette technique est naturellement utile [193], car elle est basée sur l'importance et la pertinence de l'information présentée à l'utilisateur. Elle est inspirée 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 local est nécessaire pour l'interaction avec l'élément de données et le contexte global est nécessaire pour indiquer à l'utilisateur les autres éléments de l'information qui existent et où ils sont.

La vue est basée sur une fonction mathématique du degré d'intérêt (DOI Degree Of Interest) qui assigne à chaque élément de données une valeur qui montre comment l'utilisateur est intéressé par voir cet élément, compte tenu du contexte. 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.

2.2.1 La fonction DOI

La technique du Fisheye utilise la fonction du degré d'intérêt. Cette fonction est donnée par :

$$DOI_{fisheye}(i|. = f_u) = API(i) - D(i, f_u) \tag{3.1}$$

où $DOI_{fisheye}$ est le degré d'intérêt d'un utilisateur pour un élément i sachant que l'élément de focalisation actuel de l'utilisateur est f_u.

La fonction degré d'intérêt attribue à chaque élément i de l'information 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. [195] 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. Mathieu Raynal et al. [196] utilisent une version dérivée de la technique du Fisheye pour concevoir un clavier sur les petits écrans. Il permet d'agrandir les caractères qui sont près du stylet, la figure 3.3 montre une vue Fisheye du clavier quand l'utilisateur pointe sur le caractère T. Ils ont étendu la technique classique en introduisant le recouvrement. L'utilisateur peut toujours lire les caractères qui sont près du caractère qui a le focus. Sur des écrans à taille limitée les caractères sont trop petits pour être lisibles pour l'utilisateur. Néanmoins, lorsque le stylet est en contact avec l'écran, les touches s'élargissent en fonction de leur distance par rapport au stylet : plus le stylet est proche, plus le caractère est grand.

Figure 3.3 : Clavier Fisheye.

2.2.2 La vue Fisheye sémantique

Naviguer dans un grand ensemble de données est une tâche complexe pour l'utilisateur. Partant du constat que certaines données peuvent être liées entre elles en fonction du contexte, l'utilisateur pourrait atteindre plus facilement certaines données s'il pouvait voir ces liaisons.

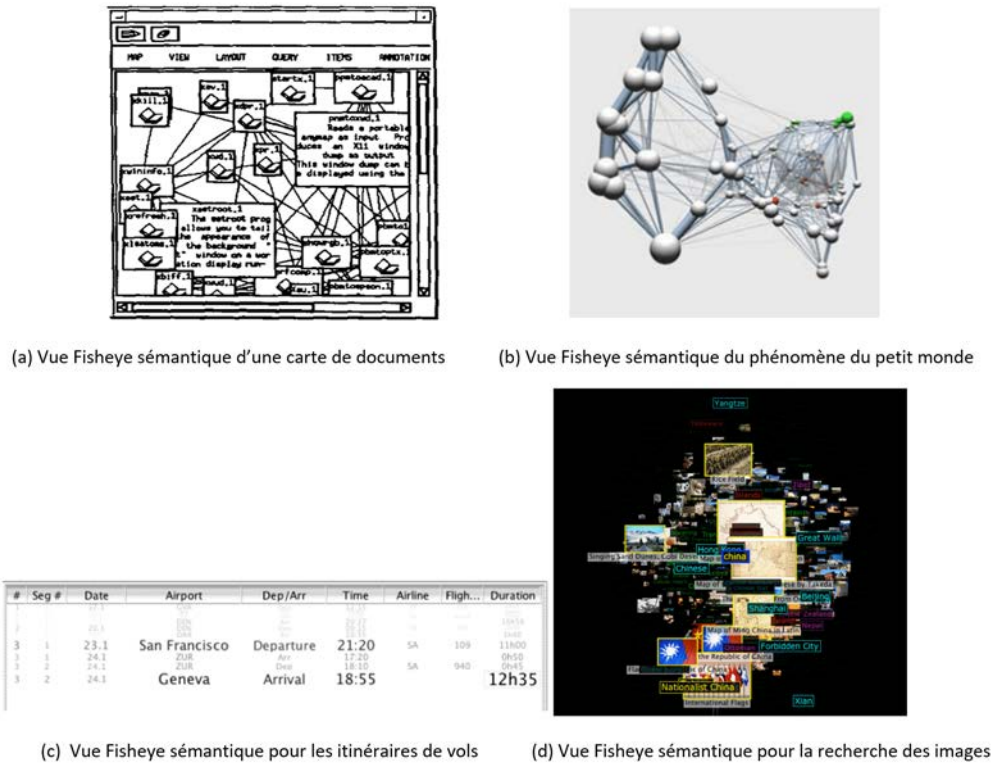
La sémantique a été introduite au zoom comme dans Pad++ [197] qui permet d'afficher plus de détails sur un élément d'information selon son sens. Ensuite, elle a été utilisée dans la vue Fisheye dans plusieurs travaux de recherches. Zizi et

al. [198] ont utilisé un Fisheye sémantique dans une carte interactive pour les documents (cf. Figure 3.4.a). Leur technique est basée sur des requêtes sur le web et des techniques de recherche d'informations pour représenter la sémantique afin d'extraire des mots clés des documents. 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. [199] ont choisi la vue Fisheye sémantique pour la visualisation interactive du phénomène du petit monde (cf. Figure 3.4.b). Ils ont utilisé un algorithme de clustering pour afficher clairement tous les sous-graphes fortement connectés.

Janecek et al. [200] ont développé un cadre pour un itinéraire de vol (cf. Figure 3.4.c) 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 de gris et la hauteur de la ligne dans le tableau. Janecek et al. [201] ont utilisé aussi une vue Fisheye sémantique pour affiner et explorer la recherche des images annotées. Ils ont utilisé les techniques de recherche d'information pour représenter la sémantique et calculer le degré d'intérêt d'une image donnée. La figure 3.4.d montre une vue Fisheye d'un résultat de requête qui cherche toutes les images dont l'annotation contient le mot « Chine ».

Dans ces travaux, la vue sémantique a permis d'utiliser des techniques de connaissances, d'analyse de données, de recherche d'information ou d'autres techniques pour construire des liaisons sémantiques pour donner une signification à l'exploration de données, la raffiner et la rendre efficace.



(a) Vue Fisheye sémantique d'une carte de documents

(b) Vue Fisheye sémantique du phénomène du petit monde

(c) Vue Fisheye sémantique pour les itinéraires de vols

(d) Vue Fisheye sémantique pour la recherche des images

Figure 3.4 : Différentes applications du Fisheye sémantique.

3 Notre approche : K-Fisheye

Nous nous intéressons dans notre travail à la visualisation des dossiers patients électroniques. Les données médicales dans ces dossiers sont fortement liées (ex. les liaisons entre les problèmes de santé et les médicaments). La vue Fisheye paraît adaptée pour montrer ces liaisons sémantiques. Notre objectif est double : définir une fonction d'intérêt adaptée à notre problème et trouver comment exprimer ces liens.

3.1 Reformulation de la fonction DOI de Furnas

Dans la formule de Furnas citée précédemment (cf. Equation (3.1)), l'API d'un élément d'information est statique. L'API ne dépend pas de l'élément de focalisation actuel. Nous proposons une reformulation pour que l'importance d'un élément d'information i soit dynamique par rapport à l'élément de focalisation actuel f_u. Il n'a pas la même importance si nous pointons sur deux éléments différents. Cette reformulation est donnée par :

$$DOI_{fisheye}(i|. = f_u) = API(i, f_u) - D(i, f_u) \tag{3.2}$$

où $DOI_{fisheye}$ est le degré d'intérêt d'un utilisateur pour un élément i sachant que l'élément de focalisation actuel de l'utilisateur est 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 à travers cette reformulation que l'utilisateur découvre 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 nos lunettes électroniques. À travers notre approche, nous voulons rendre les tuiles accessibles à l'utilisateur avec une vue sémantique. Nous appelons K-Fisheye (Knowledge Fisheye) l'adaptation de la vue K-Fisheye pour ce contexte.

3.2 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 devons donc faire des comparaisons entre les différentes informations. Nous utilisons pour notre approche 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 hiérarchique et relationnel, mais destiné à la modélisation des connaissances [202]. 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. Pour la représentation formelle des ontologies, un langage OWL (Ontology Web Language) fournit le support pour spécifier toutes les composantes d'une ontologie.

Pour commencer, il faut se demander quel est l'intérêt de notre approche d'ontologie dans le Fisheye. Une ontologie permet la couverture des termes d'un domaine donné. Une ontologie bien structurée permet des raisonnements valides [203]. Prenons l'exemple d'une question que se pose le professionnel de santé au sujet d'un patient : « Est-ce que le patient a une allergie qui se complique avec la prescription d'une médicament ?». La vue Fisheye va permettre de déduire et montrer ces relations pertinentes entre les différentes informations dans le dossier patient.

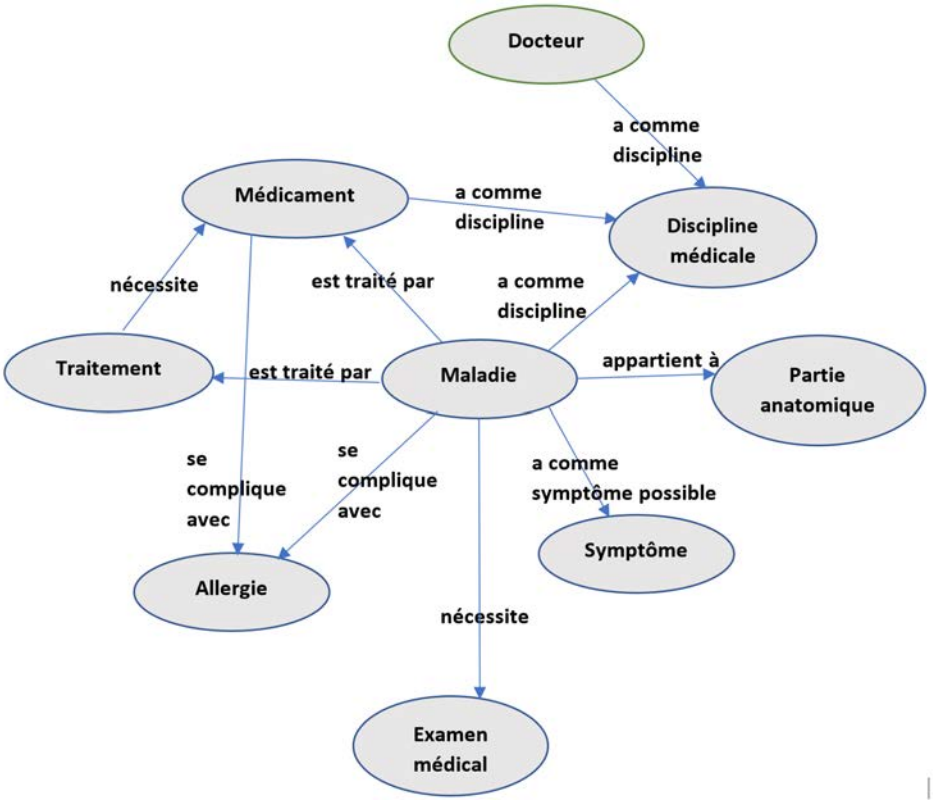


Figure 3.5 : Modèle sémantique des informations médicales.

Dans la figure 3.5, nous proposons un modèle sémantique centré sur les maladies avec différents concepts qui permettent de calculer la similarité sémantique entre les différentes informations médicales. Les informations médicales sont organisées en huit catégories « Maladie », « Médicament », « Traitement », « Allergie », « Examen médical », « Symptôme », « Partie anatomique », « Discipline médicale ». Nous avons utilisé l'ontologie LERUDI [204] (LEcture Rapide en Urgence du Dossier Informatisé) pour extraire les différentes instances liées à notre modèle sémantique. La figure 3.6 montre l'organisation des différents concepts dans cette ontologie.

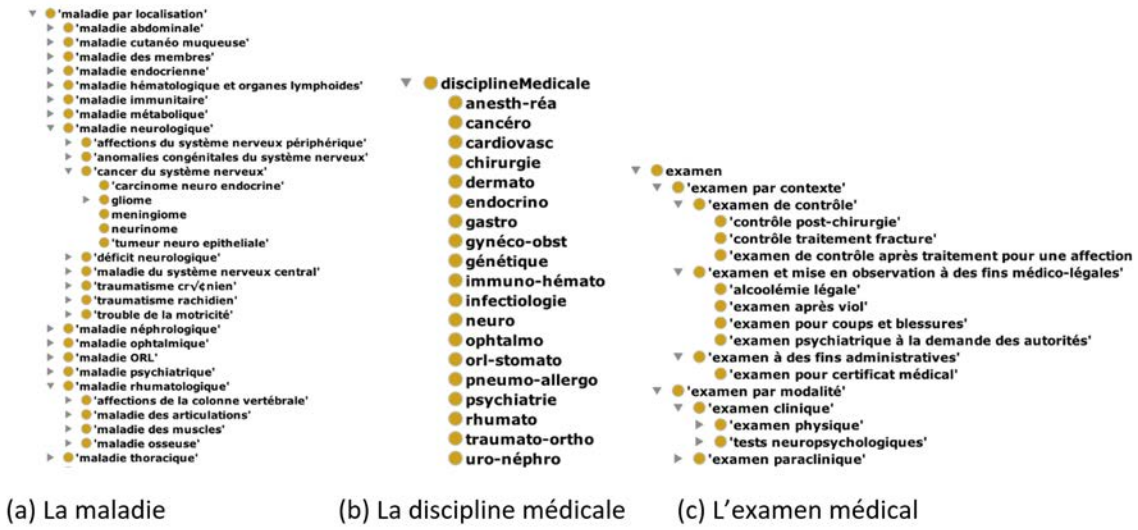


Figure 3.6 : L'organisation de différents concepts de notre modèle sémantique dans l'ontologie LERUDI.

3.3 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 de notre 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 [205]. Pour notre modèle, nous avons besoin de calculer la similarité entre les catégories auxquelles les informations appartiennent (maladie, médicament, etc.).

Chaque propriété a un type, elle peut être organisée hiérarchiquement (ex. Maladie) ou non organisée hiérarchiquement (ex. Discipline médicale). Différents modes de calculs de proximités sémantiques suivant la nature des propriétés sont présents dans la littérature [206]. Notre calcul doit intégrer les différents types de propriétés pour avoir une seule valeur numérique qui représente la similarité entre deux éléments d'informations. Nous décrivons ci-dessous les mesures de similarité prises pour chaque type :

- Propriétés organisées hiérarchiquement : ce type est basé sur la structure arborescente ou sur les hiérarchies de concepts. La mesure de Wu et al. [207] utilise la profondeur des deux propriétés et la profondeur du plus petit généralisateur commun. Elle est définie de la manière suivante :

$$sim_{Wu,Palmer}(p_1, p_2) = \frac{2 \times depth(lcl(p_1, p_2))}{depth(p_1) + depth(p_2)} \tag{3.3}$$

  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.

- Propriétés non organisées hiérarchiquement : ce type est fondé sur la comparaison de propriétés communes par rapport au nombre total de propriétés. Il

est défini comme suit [208] :

$$sim_{Jaccard}(p_1, p_2) = \frac{\{p_{11} \dots p_{12}\} \cap \{p_2 \dots p_{22}\}}{\{p_{11} \dots p_{12}\} \cup \{p_{21} \dots p_{22}\}} \tag{3.4}$$

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

Après avoir une valeur de similarité pour chaque propriété. Nous pouvons construire un vecteur de similarité v basé sur ces valeurs. Chaque composante du vecteur contient une valeur de similarité d'une propriété (est traité par, se complique avec, appartient à, etc.). Nous devons agréger ce vecteur en une valeur $sim(e_1, e_2)$ qui permet effectivement de quantifier la similarité entre deux éléments d'information. Nous choisissons comme fonction d'agrégation la moyenne des composantes du vecteur de similarité :

$$sim(e_1, e_2) = \frac{\Sigma_k sim_k(p_1, p_2)}{\Sigma k} \tag{3.5}$$

où $sim_k(p_1, p_2)$ est la similarité calculée par (3.3) ou (3.4) selon leur hiérarchie.

La fonction DOI devient :

$$DOI_{K-fisheye}(e_1|. = e_2) = sim(e_1, e_2) - D(e_1, e_2) \tag{3.6}$$

3.4 Interface à tuiles avec la vue K-Fisheye

Nous avons développé un prototype d'interface à tuile pour montrer la vue K-Fisheye. 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.

La figure 3.7.a montre l'interface à tuiles sans la vue Fisheye. L'idée est de superposer les tuiles en les agrandissant si elles se trouvent dans la même zone que l'élément de focalisation actuel. La figure 3.7.b prend en compte juste la distance pour le grossissement des tuiles sur la vue Fisheye : c'est une vue Fisheye sans sémantique. Le modèle sémantique est activé dans la figure 3.7.c.

L'exemple de la figure 3.7 montre que lorsque le Dr Jones (cardiologue) pointe vers la tuile (1), 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 avec 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.

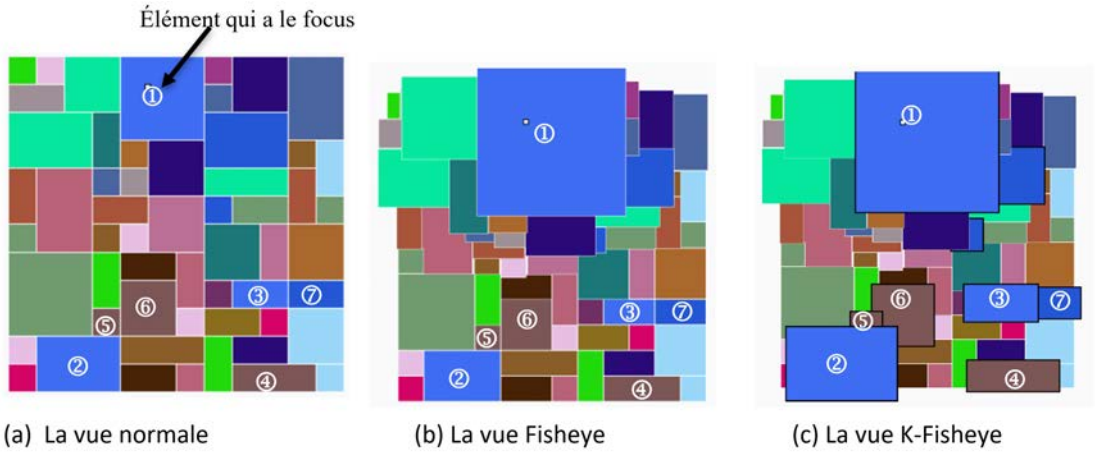


Figure 3.7 : Prototype de l'interface à tuiles.

4 Conception du système mCAREglass

Dans le cadre de ma thèse, j'ai eu l'opportunité de travailler avec le professeur A. Faiola, l'un des auteurs du projet MIVA [156], un système de visualisation de dossiers patients au service des soins intensifs étudié au chapitre 2. Le but de cette collaboration était d'adapter MIVA pour les lunettes électroniques avec une étude de terrain avec les professionnels de santé au service des soins intensifs à l'hôpital d'Illinois de Chicago. Avant de présenter la migration de MIVA vers le nouveau système mCAREglass, nous allons identifier les besoins dans un système de soins intensifs.

4.1 L'environnement du service des soins intensifs

Le service des soins intensifs est un exemple d'environnement de soins de santé très dynamique où les patients gravement malades sont pris en charge. Les services de soins intensifs ont le taux de mortalité le plus élevé (12-25%) de toutes les unités hospitalières [209], même si les patients en soins intensifs sont les plus examinés et suivis de tous les patients hospitalisés.

Le service de soins intensifs est également un environnement complexe de soins aux patients comprenant une large gamme de dispositifs médicaux sophistiqués qui collectent et envoient des données sur les patients et des communications entre les praticiens. Dans la salle des patients, les moniteurs affichent les signes vitaux. Les patients au service des soins intensifs étant fragiles et extrêmement vulnérables à tout changement, leur état de santé est une priorité pour le personnel. Vu l'évolution imprévisible de l'état de santé d'un patient, il est impératif que les infirmiers enregistrent au moins une fois par heure les données pour parer à tout déclin de la santé, voire au décès. Les données sur les signes vitaux constituent l'une des nombreuses formes d'informatios importantes pour le processus décisionnel en cours pour les professionnels de santé. Pour cette raison, les dispositifs de surveillance sont préréglés pour mesurer - avec des déclencheurs d'alarme qui peuvent attirer l'attention du personnel du service de soins intensifs en cas de changement [210]. Comme le signalent plusieurs études, ces systèmes d'alarme ajoutent à la charge

cognitive un excès de stress non seulement au personnel de santé, mais également aux patients et aux membres de la famille [211, 212].

Pour fournir de bons soins, une communication étendue et coordonnée entre les professionnels de santé, des interventions fréquentes, l'utilisation de nombreux systèmes d'information et le fonctionnement de dispositifs à des fins de monitorage et de traitement sont nécessaires [213]. Les professionnels de santé travaillent souvent en équipes multidisciplinaires pour atteindre l'objectif commun de fournir des soins de qualité, efficaces et efficients aux patients.

Cependant, il y a un manque des connaissances à jour de la situation des patients de la part des professionnels de santé dans le service des soins intensifs. Avec une visualisation accrue et continue de l'information, les connaissances des professionnels de santé peuvent être améliorées en comprenant la situation de leurs patients créant une sensibilité praticien-patient [214]. La sensibilité praticien-patient inclut la compréhension de l'état de santé actuel du patient (par rapport à son historique et les complications qu'il peut y avoir) et la compréhension de son rôle en tant que praticien par rapport aux autres membres de l'équipe [215].

Les praticiens sont généralement impliqués dans les soins de plusieurs personnes en même temps. Pour garder une sensibilité de l'état du patient, ils s'informent de plusieurs sources électroniques et non-électroniques : ils s'informent en consultant un autre membre de l'équipe ou ils créent des notes sur papier [216]. Ces notes sont échangées entre les praticiens lors de changement d'équipes. Cependant, les praticiens sont confrontés à des situations où ils doivent interrompre leur travail et celui de la personne à qui ils font appel pour avoir l'information. De plus, les notes sur papier sont rarement numérisées ou partagées avec le reste de l'équipe. Le manque d'information sur l'état actuel du patient peut entrainer des décisions incorrectes et des conséquences négatives sur la santé des patients [217]. Par conséquent, les professionnels de santé font des efforts supplémentaires pour avoir les informations actualisées des patients.

Preethi et al. [218] illustrent un exemple de flux de travail dans un environnement de soins intensifs (cf. Figure 3.8). Pendant la discussion avec l'équipe sur le patient n°1, l'interne reçoit un appel téléphonique. Comme il ne peut pas déterminer qui appelle, il répond à l'appel en s'écartant de sa conversation courante. L'appel téléphonique provient d'une infirmière à propos du patient n°2. Par conséquent, l'interne met fin à son processus de pensée actuel concernant le patient n°1 et essaie de se rappeler des informations sur le patient n°2 pour répondre à l'appel téléphonique.

Ses notes de papier préalables l'aident dans ce processus. La conversation entre l'interne et le reste des membres de l'équipe est interrompue, l'interne ne peut pas participer avec les autres membres de l'équipe à la recherche et à l'interprétation d'informations sur le nouveau taux du lactate du patient n°1 et à la discussion concernant les étapes à suivre. À la fin de son appel téléphonique, il se dirige vers un poste de travail informatique pour chercher une information urgente résultante de la conversation téléphonique. Au moment où l'interne revient à la discussion avec le groupe sur le patient n°1, le reste des membres de l'équipe a déjà pris une décision sur la manière de traiter le cas du patient n°1 et ils sont passés à la discussion sur un autre patient. L'interne n'a pas pu apporter son savoir-faire pour le patient n°1 et n'a pas la trace de la discussion.

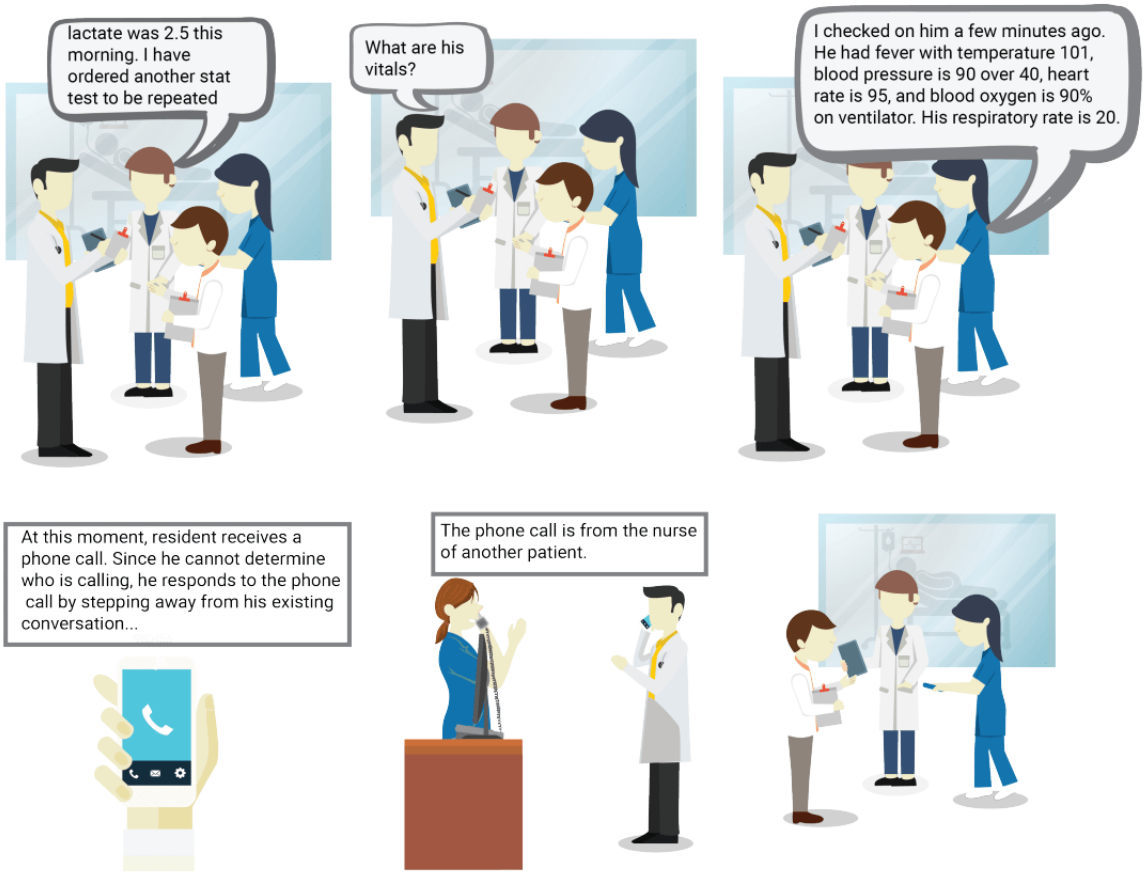


Figure 3.8 : Figure illustrant les observations durant le flux de travail au service des soins intensifs.

Plusieurs hôpitaux signalent l'augmentation de la sensibilité praticien-patient avec l'introduction des technologies synchrones et asynchrones (telle que les téléphones, smartphones, téléavertisseurs, etc.). Toutefois, ces technologies n'impliquent pas une sensibilité rapide et simultanée des informations dynamiques. En outre, elles peuvent perturber l'activité en cours du professionnel de santé ou fournir de manière asynchrone des informations qui risquent d'être obsolètes au moment où elles sont consultées [218]. C'est d'ailleurs le cas dans l'exemple de la figure 3.8. Améliorer la qualité des soins tout en réduisant les erreurs et les dommages éventuels causés par les soins de santé et les technologies de l'information sur la santé reste une priorité pour le personnel clinique et les administrateurs d'hôpitaux [219]. Pour soutenir la sensibilité praticien-patient, nous devons trouver une solution synchrone qui améliore cette sensibilité sans augmenter l'effort du praticien et interrompre son flux de travail.

Les recherches ont montré que la complexité du flux de travail clinique et de la prise de décision en réanimation influait directement sur l'état de santé des patients [220, 221]. À la charge cognitive des professionnels de santé s'ajoutent les insuffisances des systèmes informatiques de santé [222] qui risquent d'occulter des signes critiques de problèmes de santé. En résumé, des erreurs de diagnostic, y compris des erreurs d'omission, se produisent malgré les progrès réalisés dans les dispositifs intelligents. Ces erreurs sont causées par un problème de charge

cognitive. Des études démontrent que 80% des erreurs commises sont attribuées à une surcharge cognitive [223]. Cela provient d'interfaces mal conçues, ce qui entraîne des erreurs qui affectent la précision du diagnostic et la sécurité globale du patient.

Bien que certaines des études se soient concentrées sur l'environnement des unités de soins intensifs, jusqu'à présent, aucune recherche n'a abordé les problèmes recensés dans l'espace clinique de notre proposition. Les premiers concepteurs qui se sont occupés de la visualisation des données médicales se sont concentrés sur la consolidation, l'intégration et la visualisation d'un large éventail de données, combinant plusieurs échelles de temps sur un axe horizontal. Les systèmes de visualisation de données ultérieurs destinés aux soins intensifs ont tenté de relier les données temporelles / historiques à la visualisation interactive, en permettant à l'utilisateur de visualiser les données à plusieurs niveaux de détail [224].

Dans une étude récente et pertinente, des chercheurs ont rassemblé les résultats d'interviews de médecins du service de soins intensifs sur l'utilisation de lunettes électroniques pour soutenir le travail clinique [225]. Les participants ont identifié plusieurs catégories dans lesquelles les lunettes électroniques pourraient faciliter leur travail y compris : l'aide à la décision, l'accessibilité de l'information, la documentation et la communication, ce qui souligne toute la complexité du travail du praticien dans ce service. Dans leurs conclusions, les auteurs ont noté un accord des participants sur l'utilisation des lunettes électroniques dans le transport de patients en dehors du service des soins intensifs à des fins de tests complémentaires et d'interventions. Dans ce scénario, les participants ont suggéré que les lunettes électroniques pourraient « augmenter leur capacité à surveiller les signes vitaux, à la fois pendant le transport et pendant l'examen ».

La fonctionnalité la plus importante pour les médecins interrogés était la possibilité d'utiliser des lunettes électroniques pour faciliter la prise de décision, par exemple dans des situations d'urgence ou lors de tournées. Les chercheurs ont fait valoir que les participants avaient identifié la possibilité de « collecter des informations auprès de plusieurs sources via des lunettes électroniques, telles que les signes vitaux, les dossiers des patients, les algorithmes et les mémos, afin de prendre des décisions correctes ». Ces sources de données ne sont pas facilement accessibles dans le service des soins intensifs. Les participants ont également estimé que les lunettes électroniques pouvaient fournir un accès aux signes vitaux à la fois dans la salle des patients et à distance. Certains médecins ont estimé que ce niveau d'accessibilité contribuerait à accroître à la fois le contrôle et la gestion des soins, tandis que d'autres estimaient que cela augmenterait le niveau de stress et la charge de travail.

Enfin, les participants (professionnels de santé dans le service des soins intensifs) ont soutenu que les lunettes électroniques devraient pouvoir faire plus que simplement afficher des données de signes vitaux, mais aussi fournir un moyen de documenter et de communiquer. Les participants ont recommandé que les lunettes électroniques fournissent à la fois le texte et les graphiques des signes vitaux, tels que l'ECG, la pression artérielle et la saturation en oxygène, etc., en utilisant à la fois des nombres et un graphiques, tout en utilisant des alertes (par exemple, sonores et / ou visuelles) lorsque les signes vitaux du patient dépassent les seuils acceptables.

4.2 De MIVA à mCAREglass

La figure 3.9 montre l'interface principale du système MIVA. Pour pouvoir adapter le système MIVA aux lunettes électroniques, nous allons tout d'abord le décrire à l'aide de notre espace de conception développé dans le chapitre 2 en détaillant chacune des 8 dimensions :

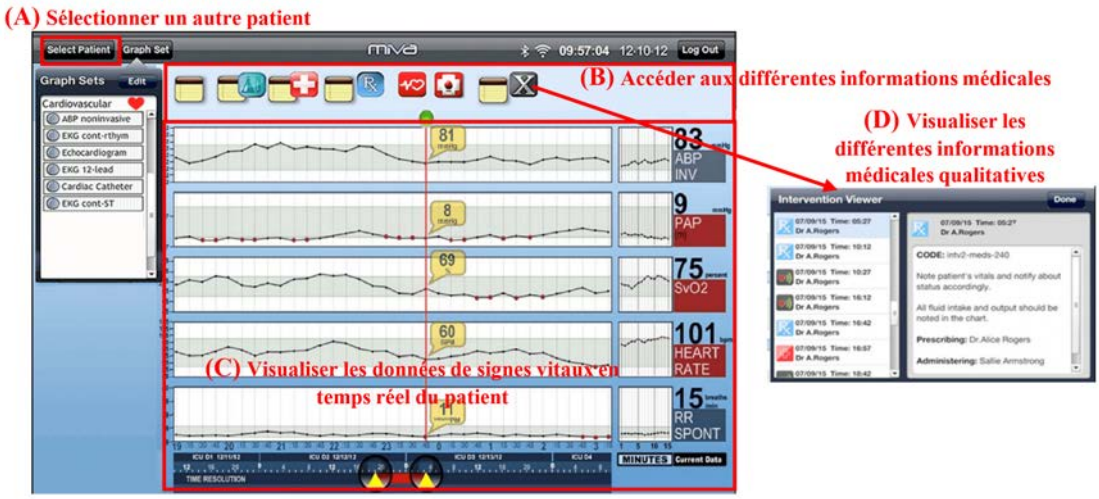


Figure 3.9 : L'interface principale de MIVA.

- **Utilisateur :** le système 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. (cible). Le système est destiné à plusieurs utilisateurs mais il ne s'adapte pas à eux. Concernant l'usage, les utilisateurs utilisent le système d'une façon individuelle où chacun a son dispositif (usage).

- **Dossier patient :** le système MIVA permet d'afficher un seul dossier patient à la fois (cf. Figure 3.9.A) (cardinalité). Il contient des informations d'une dimension temporelle (signes vitaux), n-dimension (différentes informations médicales) (cf. Figure 3.9.C, 3.9.D) (dimension). Il utilise aussi bien des données qualitatives et des données quantitatives (type de données). Le système affiche plusieurs variables qui peuvent être utiles dans le cadre des soins intensifs (nombre de variables). L'interface donne un niveau haut de l'information et plus de détails sont disponibles à la demande (niveau).

- **Technologie :** le système est conçu pour les tablettes (type de dispositif) avec un seul grand écran (taille de l'écran, nombre d'écrans).

- **Localisation :** le système est conçu sur les tablettes, ce qui permet de l'utiliser dans différents endroits. Dans la chambre des patients lors des tournées, dans la salle des soins, dans le bureau ou dans d'autres milieux cliniques.

- **Temps :** le système peut aider les utilisateurs avant la consultation pour préparer la tournée, pendant la consultation dans la chambre du patient, ou après la consultation pour le suivi et l'évaluation.

- **Objectif :** le système aide les docteurs du service des soins intensifs à explorer les données médicales, prendre des décisions et évaluer les soins. Il est utilisé dans le service des soins intensifs où les patients sont dans une période aigue et nécessite un suivi. Le système offre la fonctionnalité des alertes et de notifications.

- **Interaction en entrée :** le système offre un seul canal : le canal haptique en touchant l'écran tactile de la tablette. Il permet à l'utilisateur de sélectionner, explorer, reconfigurer, résumer et élaborer.

- **Visualisation :** Le système utilise les techniques de non distorsion incluant le fenêtrage, la barre de défilement (cf. Figure 3.9.D) et le zoom (cf. Figure 3.9.C). Il combine les graphiques et la chronologie pour afficher les signes vitaux en temps réel. Le tableau est utilisé pour afficher les données qualitatives contenues dans le dossier (cf. Figure 3.9.D). Pour les variables visuelles : la position et la taille sont utilisées pour ordonner les informations dans un ordre chronologique (cf. Figure 3.9.C, 3.9.D). Il utilise également la couleur pour mettre en évidence le valeurs critiques des signes vitaux (cf. Figure 3.9.C).

Après l'analyse du système MIVA à travers notre espace de conception, nous avons sélectionné plusieurs valeurs des sous-dimensions à intégrer. Le tableau 3.1 montre les choix des dimensions pour le système MIVA, avec les différentes valeurs intégrées pour notre prototype.

Nous allons maintenant décrire les changements proposés en s'appuyant sur la proposition de Paul dans le chapitre précédent à travers chaque sous-dimension pour concevoir la prochaine génération du système MIVA utilisant les lunettes électroniques appelé mCAREglass. La figure 3.10 montre l'écran principal de mCAREglass.

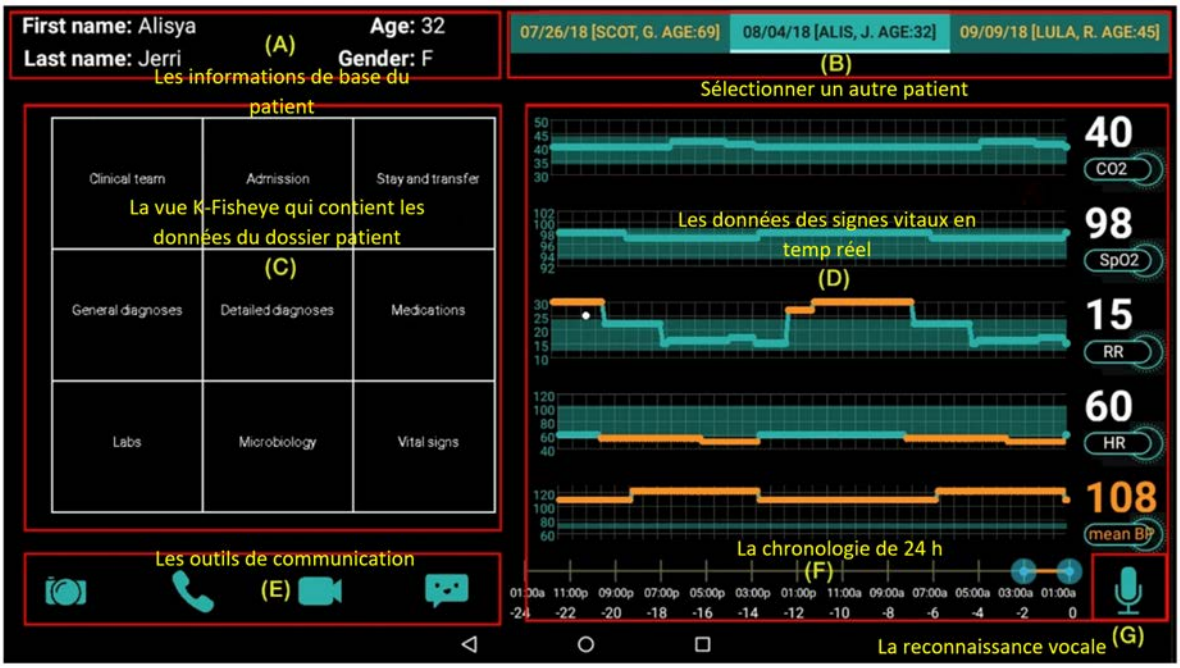


Figure 3.10 : L'interface principale de mCAREglass.

Tableau 3.1 : Tableau récapitulatif des valeurs de l'espace de conception existantes sur MIVA et les valeurs intégrées dans le nouveau prototype 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				
	Niveau	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 de patient	Salle de soins	Bureau	Autres milieux cliniques	Maison	Bâtiment public	Extérieur
When ? TEMPS		Avant la consultation	Durant la consultation	Après la consultation				
Why? OBJECTIF	Tâche	Prendre une décision	Explorer les données médicales	Evaluer les soins	Faire des statistiques	Faire une tâche non-médicale		
	Cas d'utilisation	Episode 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	Visuel	Haptique				
	Intention	Sélectionner	Explorer	Reconfigurer	Encoder	Résumer/ Elaborer	Filtrer	Connecter
How? VISUALISATION	Technique*	Distorsion	Non-distorsion					
	Représentation	Tableau	Diagramme	Graphique	Chronologie	Carte	Image	
	Variables visuelles	Position	Taille	Forme	Couleur	Transparence	Orientation	Texture
	Adaptation	Présentation	Navigation					
	Sensibilité au contexte	Utilisateur	Dossier patient	Technologie	Localisation	Temps	Objectif	

Valeur existante sur MIVA ■ Valeur intégrée dans le nouveau prototype

- **Dimension :** en plus de la dimension temporelle pour organiser les informations des signes vitaux sur une chronologie. Nous avons modélisé les informations médicales présentes dans le dossier patient sous forme d'un modèle sémantique (cf. Figure 3.5). Cette dimension permet de lier les différentes informations dans le dossier patient et faciliter l'aide à la décision.

- **Qualité d'image :** les lunettes électroniques ont un écran transparent. Nous avons choisi un arrière-plan transparent qui permet à l'utilisateur de voir à travers. En plus, nous avons choisi une couleur de texte qui a un contraste élevé par rapport à l'environnement de l'utilisateur même dans un environnement lumineux.

- **Type de dispositif :** le but était d'explorer l'utilisation des lunettes électroniques dans le contexte des soins intensifs et adapter la solution MIVA pour ce dispositif.

- **Fonctionnalités :** nous avons intégré les outils de communication et le contenu multimédia, mais ils ne sont pas développés dans notre prototype (cf. Figure 3.10.E). En plus, l'utilisateur a un accès aux informations médicales provenant de la norme médicale ICD.

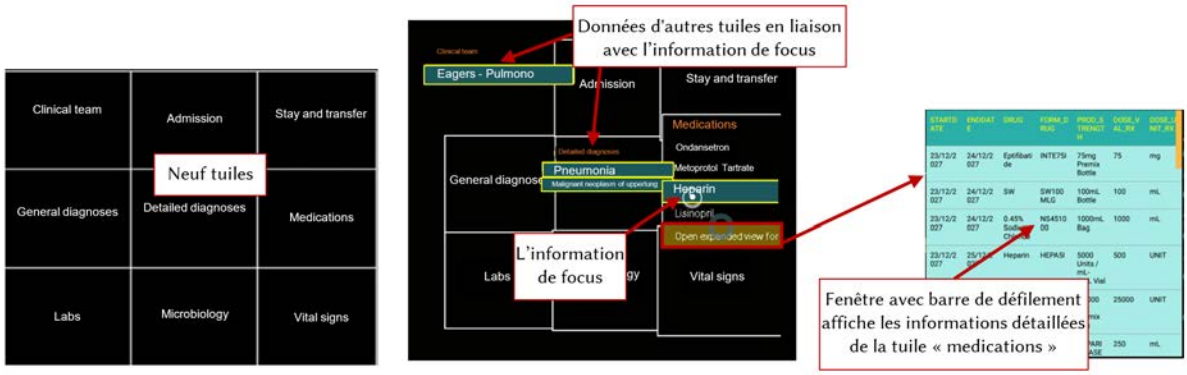
- **Canal :** afin de permettre aux professionnels de santé d'interagir tout en gardant les mains libres, l'application peut être contrôlée par commande vocale (canal audio). Ceci est rendu possible car l'environnement des soins intensifs n'est pas trop bruyant. L'utilisateur doit prononcer le mot clé « Glasses » pour activer la reconnaissance vocale suivi d'une commande permettant de sélectionner l'information sur l'interface (ex. la commande « Medications » pour sélectionner la tuile des médicaments). L'utilisateur peut également utiliser soit le pavé tactile des lunettes, soit utiliser une montre connectée via Bluetooth aux lunettes (un canal haptique) (cf. Figure 3.11).

(a) Pavé tactile et le micro pour activer les commandes vocales (b) La visualisation du dossier patient dans la salle des patients

Figure 3.11 : L'utilisation de l'application mCAREglass au service des soins intensifs.

- **Technique :** nous avons gardé les techniques de non-distorsion telles que le fenêtrage, le défilement, et le zoom sur les données des signes vitaux. Nous avons intégré également notre vue K-fisheye des données médicales (cf. Figure 3.10.C). La vue K-Fisheye met en évidence les informations pertinentes afin de minimiser les besoins de mémorisation 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 [226].

  L'utilisateur peut visualiser les différentes catégories de données dans la même vue pour améliorer l'efficacité du professionnel de santé : équipe clinique, admission, séjour et transfert, diagnostics, médicaments, laboratoires, etc. Chaque tuile contient une catégorie. La Fig. 3.12.b montre que lorsque l'utilisateur survole le médicament "Herparin", les informations associées sont mises en évidence "Pneumonie", "tumeur maligne du haut du poumon" (diagnostics détaillés), "Eagers -Pulmeno" (équipe clinique). Cela permet de localiser les informations appropriées sur l'écran et de limiter l'utilisation de graphiques ou de textes n'ajoutant pas de valeur au processus de prise de décision du clinicien afin de conserver un affichage simple et sans encombrement.



(a) Vue statique de l'interface à tuile (b) La vue K-Fisheye sur la tuile médicaments (c) Fenêtre ouverte pour plus de détails.

Figure 3.12 : Illustration de l'interface à tuile.

- **Représentation :** la vue K-Fisheye permet d'inclure plusieurs représentations : graphique, tableau, image.
- **Adaptation et sensibilité au contexte :** Le prototype mCAREglass est adaptif en présentation et navigation. Pour la présentation, il prend deux facteurs contextuels en considération : l'utilisateur et le dossier patient. 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 : avec des commandes vocales, en utilisant le trackpad des lunettes ou une montre connectée. Si ses mains sont libres, il peut utiliser le trackpad pour plus de précisions. Sinon, si ses mains sont occupées, il utilise des commandes vocales.

5 Étude expérimentale de mCAREglass

Cette étude est composée de deux parties (cf. annexe A). Tout d'abord, un test d'utilisabilité de mCAREglass comprenant un pré-test afin de montrer aux participants le fonctionnement de mCAREglass et une interview sur l'utilisation potentielle de mCAREglass dans le service de soins intensifs.

5.1 Test d'utilisabilité

La première partie de l'étude comprend un test d'utilisabilité, destiné à évaluer le potentiel d'utilisation de notre système dans l'environnement de soins intensifs, sur la base de mesures spécifiques fournies par les participants. Le test d'utilisabilité fournit des résultats initiaux mesurables en termes de facilité d'utilisation et d'apprentissage des lunettes électroniques dans un contexte de soins intensifs. La méthode TAP (Thinking-Aloud Protocol) a été utilisée pour recueillir les réactions immédiates des participants lors de l'utilisation du système mCAREglass. TAP est un protocole psychologique utilisé pour collecter des données lors de tests d'utilisabilité de produits qui permettent de mieux comprendre les processus cognitifs

du participant, en rendant les processus de pensée aussi explicites que possible lors de l'exécution d'une tâche. TAP implique que les participants parlent de ce qu'ils pensent, ressentent ou font tout en effectuant un ensemble de tâches spécifiées. Les participants sont invités à dire tout ce qui leur passe par la tête lorsqu'ils exécutent la tâche.

Les sections du test d'utilisabilité comprennent un pré-test de mCAREglass, fournissant des instructions sur l'utilisation de mCAREglass et la présentation de base de l'interface utilisateur. Cela inclut d'expliquer en détail comment accéder aux données, comment accéder aux données associées pour développer des informations cliniques, et la conception de l'affichage, y compris le côté droit de l'interface avec la visualisation des données en temps réel et le côté gauche du K-Fisheye.

Les tâches liées au test d'utilisabilité sont suivies par deux questionnaires :

1. L'indice de charge des tâches de la NASA (NASA-TLX) a été utilisé pour fournir une évaluation subjective de mCAREglass en relation avec la charge de travail perçue - performances des tâches et du système.

2. L'échelle d'utilisabilité du système (SUS) a été utilisée pour fournir une évaluation subjective de l'utilisabilité.

5.2 Interviews

Les deux questionnaires d'utilisabilité post-test ont été suivis d'une interview avec des questions qui visent à évaluer : (1) la valeur / importance potentielle de l'utilisation de lunettes électroniques dans le service des soins intensifs, (2) la possibilité de réduire ou d'augmenter les perturbations du flux de travail et / ou de la charge cognitive à l'aide de lunettes électroniques et (3) des recommandations pour la conception des interfaces, des interactions et l'affichage des informations. L'interview a permis aux participants d'exprimer librement leurs préoccupations quant à la technologie abordée et de mettre en évidence tous les aspects possibles (négatifs ou positifs) du système. Le dialogue entre le participant et le chercheur était conversationnel.

5.3 Procédure

Toutes les procédures de l'étude expérimentale ont eu lieu dans le bureau des professionnels de santé en fonction de leur disponibilité en Anglais. L'étude a duré environ 40 minutes. Toute l'étude a été enregistrée et transcrite. Les noms des participants n'étaient pas écrits ni enregistrés. Au début de chaque étude, un numéro de participant a été attribué. Une déclaration de consentement orale a été lue aux participants avant que le test d'utilisabilité ne commence. Après le consentement, les participants ont été informés pendant cinq minutes sur la façon de porter et d'utiliser les lunettes électroniques et comment accéder aux données et informations relatives au patient.

Trois scénarios cliniques ont été examinés avec les participants incluant l'état de santé de trois patients au service des soins intensifs, à partir desquels les participants ont été autorisés à examiner les données affichées sur l'écran des lunettes électroniques :

- Scénario n ° 1 (cf. Figure 3.13) : un homme de 56 ans est admis aux soins intensifs à 17 heures pour une douleur à la poitrine afin de traiter 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.

Figure 3.13 : Scénario 1 : avec ou sans lunettes.

- Scénario n ° 2 (cf. Figure 3.14) : 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.

Figure 3.14 : Scénario 2 : avec ou sans lunettes.

- Scénario n ° 3 (cf. Figure 3.15) : une femme de 44 ans est admise aux soins intensifs en détresse respiratoire aiguë avec saignements gastro-intestinal supérieur et inférieur. 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.

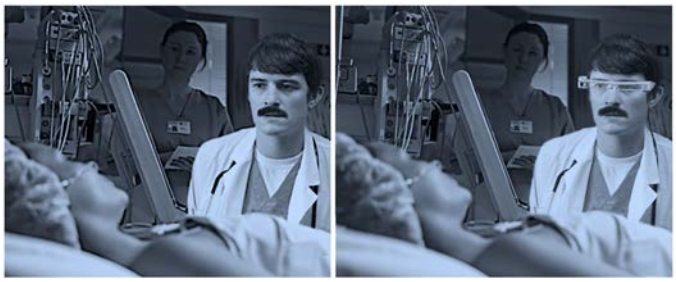


Figure 3.15 : Scénario 3 : avec ou sans lunettes.

Les trois jeux de données des dossiers médicaux électroniques des patients ont été extraits du jeu de données MIMIC-III (Medical Information Mart for Intensive Care III), une base de données librement disponible comprenant des données sur la santé de patients anonymes [227]. La base de données MIMIC-III contient plus de 40 000 jeux de données de patients. La base de données comprend : les données démographiques, les mesures des signes vitaux des patients, les résultats de laboratoire, les traitements, les médicaments, les notes aux soignants, les rapports d'imagerie et les enregistrements de mortalité. Les participants ne devaient pas agir envers des patients, mais se contenter d'observer les données et répondre aux questionnaires.

5.4 Participants

Neuf médecins volontaires (dont une femme) du service des soins intensifs médicaux de l'hôpital de Chicago ont participé à notre étude. Tous parlaient couramment l'anglais. Les participants ont été recrutés à l'aide d'une base de données des professionnels de santé de l'hôpital fournie par un administrateur des affaires de santé, également accessible en ligne au public. Un courrier électronique de recrutement a été envoyé demandant des volontaires pour l'étude.

6 Résultats

6.1 Résultats quantitatifs

Nos résultats montrent que la conception globale de mCAREglass a reçu la note de $2,22$ (avec $SD = 0,83$). Nos résultats ont également révélé une note d'apprentissage de $1,67$ (avec $SD = 0,71$), malgré la première utilisation des participants du prototype mCAREglass via la technologie des lunettes électroniques. Une note proche de 1 indique une conception plus claire et un apprentissage plus rapide (cf. Figure 3.16).

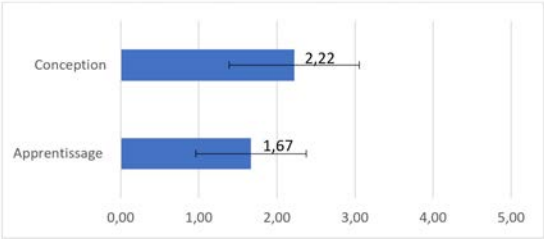


Figure 3.16 : La moyenne de la conception de l'interface et de l'apprentissage avec mCAREglass (plus la note est faible meilleure est la notation).

Les résultats du questionnaire SUS montrent un score moyen de $77,2$ (avec $SD = 13,3$). Ce score indique une bonne satisfaction [228]. Pour mesurer la charge de travail perçue par les participants, nous pouvons voir que les scores NASA TLX sont faibles en termes d'effort et de demande physique, car la navigation n'exige pas une demande cognitive excessive, ni avec le contrôleur ni avec les commandes vocales (cf. Figure 3.17).

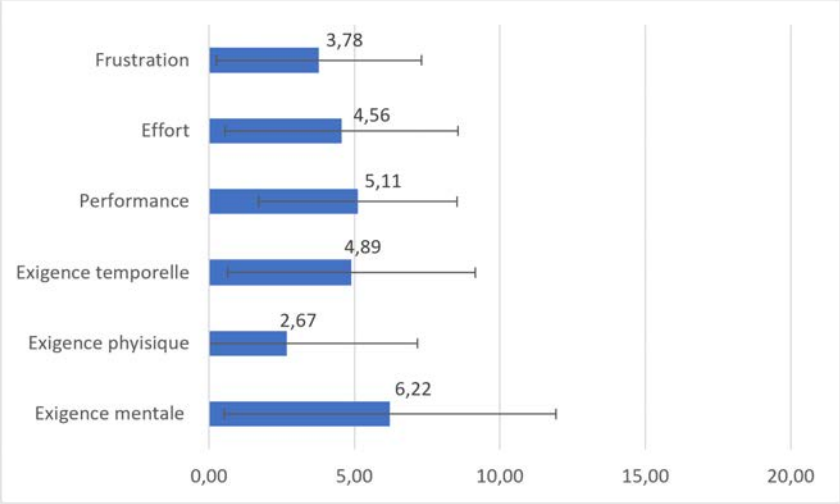


Figure 3.17 : Score moyen de la NASA TLX (dans tous les cas, le score le plus bas est meilleur. Par exemple, pour les performances, le score le plus bas indique une performance parfaite).

6.2 Résultats qualitatifs

Les questions de l'interview ont adressé plusieurs sujets :

6.2.1 Le potentiel d'utilisation de mCAREglass

Tous les participants ont soutenu fortement le potentiel de mCAREglass en tant qu'outil viable pouvant aider le travail clinique dans le service de soins intensifs. Des réponses cohérentes ont appuyé son utilisation soit dans l'environnement du service des soins intensifs, soit dans leur bureau en notant que mCAREglass leur permet d'éviter de retourner sur leur ordinateur de bureau pour chercher les données du patient à partir du système de dossiers patient électroniques.

- Le participant n °1 a déclaré : « *when you need to pull up data where you are and not necessarily walk over your monitor* ».
- Le participant n° 2 a déclaré : « *when we are walking around, I think that when we move out and see patients, anything that can be mobile with us, is less cumbersome would be useful*».
- Le participant n° 9 a déclaré : « *this is something that's on your face… you can just put on it and if you're in a corner of the ICU or anyway you don't have to go find a computer, you don't have to carry an extra-large device around so you can immediately access things and get to that real-time data which is nice* ».

6.2.2 La réduction des erreurs et l'amélioration de la qualité des soins

Les participants ont déclaré que l'application mCAREglass améliorera probablement la qualité des soins si elle est bien intégrée au flux de travail clinique, c'est-à-dire en provoquant des interruptions limitées du travail clinique. Les participants ont suggéré que l'utilisation de mCAREglass rendrait les données du patient transférables, permettant ainsi un accès à distance aux informations nécessaires, sans

interrompre une autre personne. Cela permettrait aux professionnels de santé de réagir au bon moment en prenant les mesures nécessaires, améliorant ainsi la qualité des soins et la réduction possible des erreurs. Voici quelques remarques pertinentes recueillies :

- Le participant n° 2 a déclaré : « *I think having the information at your fingertips at the time that you want them oftentimes allows you to do actionable items right away* ».
- Le participant n°3 a déclaré : « *if you are able to access the information quicker I guess maybe you can theoretically consider yourself improving care* ».
- Le participant n°8 a déclaré : « *it might decrease errors because you are grabbing the data that you're looking while you're rounding and there's no risk of transcription errors or interpretation errors* ».
- Le participant n°9 a déclaré : « *if you are in front of the patient and looking at the patient and looking at the numbers simultaneously it might give you a better sense of the patient's condition and therefore you understand better if the patient is deteriorating, it's getting better or is not improving and if you have this very clear that could lead you to make less mistakes* ».

6.2.3 Amélioration du flux de travail

L'outil permet de réduire les perturbations et la charge cognitive selon les participants et peut remplacer ce qu'ils ont déjà.

- Le participant n°2 a déclaré : « *what we have now is cumbersome, it's called a Wow (workstation on wheels)...it takes a whole person to carry that push that thing, I see this sort of as a replacement for that* ».
- Le participant n°3 a déclaré : « *if you ask the residents a question, they won't know, they are supposed to run to find their computers, they may be useful just pull these on* ».
- Le participant n° 4 a déclaré : « *if you have synthetized information in an accurate format that can be decrease the workload* ».
- Le participant n° 7 a déclaré : « *it could decrease disruptions to workflow because you know a lot of times you have to stop what you're thinking about if someone go look up a piece of data so if you had the piece of data immediately you wouldn't have to interrupt your thought* ».
- Le participant n° 8 a déclaré : « *if you have to constantly find computer or when we round we have these computers so it's less disruptive to have something like this on your person* ».

6.2.4 La visualisation des données : K-Fisheye

Les participants ont généralement apprécié l'intégration des données médicales (diagnostics, médicaments, etc.) sur l'interface utilisateur.

- Le participant 1 a déclaré : « *it would be helpful the challenge is patient history is usually free text and they don't know how to prevent you from overwhelming the interface as well* ».
- Le participant n°2 a déclaré : « *yeah, I think it could be helpful. I think it could be more helpful depending on the content* ».
- Le participant n°4 a déclaré : « *it's very helpful, yeah* ».
- Le participant n°7 a déclaré : « *well it's hard to judge it because it wasn't real situation... I think it should be helpful* ».

Les avis sur l'affichage d'informations sensibles au contexte K-Fisheye divergent. Certains trouvent cela inutile, voire lourd, car la plupart d'entre eux connaissent déjà ces associations et les afficher avec d'avantage d'informations augmente la charge cognitive. D'autres le trouvent utile dans certaines situations lorsque le système vous guide vers des informations utiles ou vous fournit des informations avec lesquelles vous n'êtes pas familier.

- Le participant n°2 a déclaré « *I mean I think most of us in medicine are knowledgeable enough about a lot of these medications that we prescribe that you don't have to tell me what the indication is for but sometimes if you give me the indication that makes it easier for to look for targeted information that I need for that specific* ».
- Le participant n° 4 a déclaré : « *it varies. There are definitely some medications where I'm very familiar with. That are probably would be disrupting but there are medications especially when the patient gets transferred into the ICU with a bunch of medication for example, for the oncology service and I'm not quite familiar with them. And in those cases, I'll be very happy to have that right there* ».
- Le participant n° 9 a déclaré : « *That's great. I was impressed by that. That's very useful it would help visualize the relationship between the different areas that we look could help in creating a more accurate clinical picture of the patient's condition* ».

6.2.5 Alertes et communication

Certains participants trouvent que les lunettes peuvent servir comme un dispositif pour recevoir des alertes. Par contre, les autres ne veulent pas les intégrer sur les lunettes.

- Le participant n°1 a déclaré : « *having something else pop up on the screen while you're trying to say the other might be more distracting so not* ».
- Le participant n°2 a déclaré : « *currently a lot of that it's done person-to-person to reduce patient error, so I don't know how that would change* ».
- Le participant n°5 a déclaré : « *yeah, I see the benefit of that* ».

- Le participant n°7 a déclaré : « *I would only suggest bringing alerts to it that are very time urgent* ».
- Le participant n°8 a déclaré : « *I am sure that if this were on your face and things are firing off all the time that we're distracting and they for the most part you were ignoring there are a lot of alerts that go off that are just kind of where the patient is, so alerts popping up we'd have to think I think it to make that most effective you'd have to think long and hard about which alerts you want it for I see too many is just people will take the glasses off* ».
- Le participant n°9 a déclaré : « *yeah during my day in the ICU yeah* ».

Les participants mentionnent qu'une fonctionnalité importante du volet de communication est la possibilité de capturer l'état actuel du patient et de le partager avec l'équipe.

- Le participant n°1 : « *if you could take snapshots of what on you're looking at and share with others that could be helpful* ».
- Le participant n°2 : « *I think texting. It depends, it depends on what generation you're from* ».
- Le participant n°4 : « *Actually pictures, that's a great idea. I think people definitely use it especially for wounds* ».
- Le participant n°8 : « *particularly during procedures and what you see if you can even record the procedure as you go forward, that would be a new way of documentation* ».

6.2.6 Suggestions pour améliorer le prototype

Les participants ont également énuméré un certain nombre de facteurs nécessitant une amélioration. Les principaux problèmes sont les suivants :

1. Donner aux utilisateurs la liberté d'agrandir le côté Fisheye ou la visualisation en temps réel en plein écran.
2. Disposer de la fonctionnalité de photo permettant d'enrichir le dossier patient ou d'envoyer des informations à un autre médecin à distance.
3. Inclure des images de rayons X, IRM, ECG, etc.
4. Diviser les médicaments en trois catégories : programmés, au besoin et perfusions.
5. Améliorer la visualisation des médicaments : en cours, terminés et quand les doses sont données.
6. Permettre d'activer et de désactiver les données associées sur la vue K-Fisheye.

7 Discussion

Cette recherche propose un prototype pour développer une application mobile avec les lunettes électroniques, destinée spécifiquement aux flux de travaux cliniques dans l'environnement de service des soins intensifs. Le prototype est appelé : mCAREglass. Il devient important de proposer des interfaces conçues avec attention et des techniques de présentation de l'information qui s'adaptent avec les petits écrans et surmontent leurs limitations afin d'améliorer l'expérience utilisateur. Ces interfaces devraient aider l'utilisateur à naviguer facilement et mieux comprendre son espace de visualisation pour effectuer ses tâches rapidement et efficacement.

Les résultats de notre étude ont montré que tous les participants s'accordent à dire que mCAREglass offre un potentiel intéressant pour améliorer le travail clinique au service des soins intensifs. 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 préoccuppés par une augmentation de la charge de travail. Ils ont plutôt apprécié de disposer de toute une gamme de possibilités nouvelles pour améliorer la qualité des soins.

mCAREglass pourrait augmenter l'accès à la surveillance et ainsi améliorer le monitorage. Les résultats ont indiqué que mCAREglass avait le potentiel de fournir plus qu'un simple accès mobile aux signes vitaux et aux données de dossier patient en permettant de nouvelles façons d'interagir avec d'autres médecins (à distance et en face à face) lors du processus de prise de décision.

Bien que l'avenir de la technologie des lunettes électroniques soit incertain, le prototype mCAREglass proposé montre un attrait pour cette technologie dans un contexte spécialisé tel que le service des soins intensifs. mCAREglass ouvre également d'autres possibilités de recherche pour surmonter les obstacles liés à un ensemble d'interactions encombrées avec plusieurs technologies existantes dans le service des soins intensifs.

8 Conclusion et perspectives

Le but de notre recherche étant de concevoir, développer et tester une nouvelle application de lunettes électroniques destinée aux services de soins intensifs, appelée mCAREglass. L'utilisation de notre espace de conception appliquée au système existant MIVA nous a permis d'adapter ce système à une nouvelle technologie. Développé pour soutenir le flux de travail, les soins aux patients et la prise de décision globale, mCAREglass offre aux docteurs une mobilité / une portabilité et un accès mains libres aux dossiers patients électroniques et aux signes vitaux en temps réel. Les avantages incluent la possibilité de réduire la charge cognitive car il n'est pas nécessaire de se déplacer continuellement pour accéder aux ordinateurs fixes situés parfois dans d'autres pièces. Après des tests d'utilisabilité et des interviews avec neuf docteurs du service de soins intensifs à l'hôpital d'Illinois de Chicago, nos conclusions ont montré que tous les participants étaient d'accord pour dire que mCAREglass offrait un potentiel considérable d'optimisation du flux de travail clinique. Cependant, pour tirer pleinement parti de la valeur potentielle

de l'application mCAREglass, les participants ont convenu qu'elle devrait être correctement intégrée au flux de travail des utilisateurs, c'est-à-dire dans le cadre de la prise de décision et de l'observation du patient.

Pour l'avenir, nous proposons de poursuivre le développement de mCAREglass, en exploitant nos résultats pour créer une version améliorée de l'application. Cela comprendrait une conception d'interface améliorée, plusieurs techniques d'interaction et une amélioration des techniques utilisées comme la précision d'activation vocale, ainsi qu'un accès élargi aux informations des patients.

L'amélioration et l'évaluation de la vue K-Fisheye avec d'autres informations contextuelles de l'utilisateur (localisation, temps, etc.) et ses préférences pour déterminer les informations à afficher est un axe d'amélioration important qui a un impact fort sur la navigation de l'utilisateur.

Publications liées à ce chapitre

[229] Belkacem, I., Pecci, I., & Martin, B. (2016, September). Smart Glasses : A semantic fisheye view on tiled user interfaces. In 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1405-1408). IEEE.

---

[230] Belkacem, I., Faiola, A., Bergey, D., Pecci, I., & Martin, B. (2019, March). Towards the Design of a Smart Glasses Application for Medical Intensive Care Unit Decision-Support : Assessing the Human Factors Impact of Data Portability Accessibility. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics in Health Care, Chicago, IL.

Chapitre 4

Évaluation du pointage sur les lunettes électroniques

***

Il faut prêter attention à ce que l'utilisateur fait et non ce qu'il dit.
Jakob Nielsen

Sommaire

1 Introduction 103
2 Motivation : Contexte de santé 104
3 Travaux connexes 105
4 Techniques de pointage 107
5 Étude expérimentale 111
6 Résultats 119
7 Discussion 126
8 Conclusion et perspectives 127

1 Introduction

Au chapitre précédent, nous avons présenté une interface de visualisation des dossiers patients dans le service des soins intensifs. Nous allons étudier différentes techniques pour naviguer dans celle-ci. Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'interaction en entrée et plus spécialement au pointage. Nous considérons différentes techniques pour pointer des informations dans le dossier patient.

Bien que les lunettes électroniques présentent un très grand potentiel, leur usage reste limité dans le contexte médical car elles ont encore des défis à surmonter. Un de ces défis est l'amélioration de l'interaction en entrée qui permet de transformer les lunettes d'un simple écran devant les yeux à un dispositif qui réalise des tâches complexes. Pour cela, les utilisateurs ont besoin de nouvelles techniques d'interaction en entrée.

Alors que les interfaces mobiles existantes sont principalement définies pour les smartphones, il est difficile de trouver des interactions en entrée dédiées aux lunettes électroniques. L'interaction en entrée n'est pas bien définie. Au lancement des premières lunettes électroniques commerciales Google Glass [231], la technique d'interaction principale déployée était la reconnaissance vocale, inappropriée dans les environnements partagés parfois bruyants [232], et peu appréciée par les utilisateurs dans les endroits publiques [233].

Les lunettes électroniques d'aujourd'hui offrent une multitude de capteurs qui peuvent être exploités pour l'interaction en entrée et plus spécialement pour le pointage : par exemple le gyroscope, qui peut mesurer la vitesse angulaire et l'orientation de la tête. L'utilisateur peut alors se servir du mouvement de sa tête pour pointer sur les lunettes. Nous trouvons aussi la caméra qui peut servir pour la reconnaissance des gestes, spécialement le mouvement de la main. D'autres méthodes peuvent être exploitées comme l'utilisation des dispositifs supplémentaires : les montres, les bracelets, les bagues, etc.

Pour choisir ou concevoir des techniques de pointage permettant de réaliser une tâche de pointage sur un dispositif, il convient de prendre en compte d'une part les contraintes liées au type de dispositif utilisé et d'autre part le contexte d'utilisation. La contribution principale de ce chapitre est l'évaluation des performances utilisateur de différentes techniques de pointage sur des lunettes électroniques avec des résultats détaillés par le biais de la norme ISO 9241-411 à la suite de la tâche de sélection multidirectionnelle.

Dans ce chapitre, nous étudions quatre techniques de pointage afin de contrôler le curseur sur une interface des lunettes. Deux techniques sont basées sur le mouvement de la tête, une technique est basée sur le mouvement de la main et la dernière utilise la surface tactile. Le choix des techniques, mouvement de la tête et mouvement de la main, est motivé par le contexte de la santé. Le praticien qui utilise les lunettes ne doit pas tenir un dispositif supplémentaire dans sa main. Nous étudions le potentiel de ces techniques par rapport à la technique de pointage sur une surface tactile couramment utilisée pour le pointage sur les lunettes électroniques.

2 Motivation : Contexte de santé

Le prototype de mCAREglass présenté dans le chapitre 3 affiche les informations au format 2D et l'utilisateur déplace le curseur afin d'avoir plus de détails. Nous avons utilisé la surface tactile mais elle ne convient pas dans le domaine de santé. L'utilisateur doit tenir le contrôleur dans sa main ce qui est contraignant pour effectuer les tâches médicales. Notre défi est de fournir des techniques de pointage appropriées à ce contexte. Pour comprendre le problème de l'utilisation de pointage pour le dossier patient, nous décrivons un scénario de conception illustrant certaines tâches typiques d'un médecin au cours d'une journée avec des lunettes électroniques.

À l'hôpital où travaille le Dr Bob, un système de dossiers patient électroniques est mis en place avec des lunettes électroniques. Le Dr Bob doit interagir de manière efficace et efficiente. Il peut consulter le dossier du patient, en étant dans la

salle d'examen, se promener dans les couloirs de l'hôpital ou s'asseoir devant son patient. Il trouve que la technique de pointage avec la surface tactile est facile mais difficile à utiliser avec d'autres activités. Une interaction mains-libres lui serait très utile car ses mains sont souvent occupées lors de la pratique médicale : tenue du matériel médical, palpation, chirurgie, etc.

De plus, il devait stériliser sa main à chaque fois qu'il touchait le dispositif de pointage, ce qui lui faisait perdre du temps. Les méthodes d'interaction à mains libres sont prometteuses pour le Dr Bob, car elles lui permettent de ne pas interrompre son traitement médical ou de perdre du temps à stériliser ses mains.

Le scénario proposé montre que des lunettes électroniques pourraient être intégrées dans un contexte hospitalier à condition que les techniques de pointage ne soient pas contraignantes. Notre travail consiste à identifier et à évaluer différentes techniques de pointage à mains libres.

3 Travaux connexes

Plusieurs recherches antérieures sur l'interaction en entrée avec les lunettes électroniques sont présentes dans la littérature. Trois groupes sont proposés par [234] :

- Dispositif portable : l'utilisateur tient un dispositif dans sa main comme un smartphone, une surface tactile, etc.
- Tactile : l'utilisateur tape sur des surfaces sur son corps ou des dispositifs vestimentaires comme les bagues intelligentes, les montres connectées, etc.
- Non-tactile : l'utilisateur n'a pas besoin d'une surface pour interagir. Ce groupe inclut les interactions comme les gestes en l'air, les mouvements de la tête, du corps, la reconnaissance vocale, etc.

Le premier groupe comprend les interactions en entrée avec la surface tactile. Comme il s'agit d'une manière courante d'interagir sur les appareils mobiles et également disponible avec certaines lunettes électroniques, nous avons choisi cette interaction comme référence pour notre étude.

Pour les autres techniques de pointage étudiées, nous nous intéressons au troisième groupe. Comme l'utilisateur porte déjà des lunettes électroniques, nous ne souhaitons pas ajouter un autre appareil susceptible de compliquer les interactions dans un contexte de mobilité. Nous concentrons nos travaux sur ce groupe d'interaction non tactiles, en particulier les interactions utilisant les mouvements de la main et de la tête.

3.1 L'interaction avec le mouvement de la tête

Deux types de technologies différentes sont utilisées dans la littérature : les caméras et les capteurs de position. La première approche basée sur la caméra [235–240] utilise un système de suivi du visage qui interprète les mouvements de la tête en temps réel. Il présente plus d'avantages pour les interfaces sur les dispositifs fixes comme les ordinateurs de bureau. La seconde approche, basée sur des capteurs de position permet une mesure précise [241]. Cette approche est utilisée pour naviguer

dans l'interface d'un ordinateur de bureau pour les personnes handicapées [242–244].

Le suivi du mouvement de la tête avec des capteurs de position est plus naturel avec les visiocasques comme les lunettes électroniques et les casques de réalité virtuelles car ils disposent déjà de ces capteurs. Il est utilisé pour plusieurs applications : afficher la scène appropriée dans l'environnement virtuel en fonction du mouvement [245], s'authentifier en effectuant des gestes [233], contrôler les quatre mouvements (haut, bas, gauche, droite) pour se diriger dans un jeu (Pac-Man [246]) et pour l'entrée de texte [247]. Récemment, les lunettes électroniques Microsoft HoloLens [248] ont adopté le mouvement de la tête comme moyen standard pour naviguer dans le monde virtuel et pour manipuler des objets virtuels.

D'autres travaux dans la littérature évaluent le pointage avec le mouvement de la tête pour les lunettes électroniques [249–251] ou pour un casque de réalité virtuelle [252] : les résultats sont assez différents. Jalaliniya et al. [249] comparent trois techniques (souris, mouvement des yeux et mouvement de la tête) dans un environnement de réalité augmentée avec les lunettes électroniques. Leurs résultats montrent une meilleure vitesse pour le pointage avec le mouvement des yeux mais avec moins de précision par rapport au mouvement de la tête. Au contraire, dans un environnement de réalité virtuelle, Qian et al. [252] trouvent que le mouvement de la tête est préférable par rapport au mouvement des yeux. Il est difficile de comparer les deux études car les expériences ne sont pas décrites avec le même niveau de détail et le contexte est différent (environnement réalité augmentée vs environnement virtuel, lunettes électroniques vs casque de réalité virtuelle). Plusieurs travaux [250, 251] combinent le mouvement de la tête avec le mouvement des yeux. Même si les résultats sont intéressants avec cette combinaison, l'utilisateur doit garder ses yeux longtemps sur la cible pour validation dans le cas de la technique de mouvement des yeux. Dans le contexte médical, le médecin ne doit pas perdre trop longtemps le contact avec son patient. C'est pourquoi nous avons exclu cette technique d'interaction dans notre étude.

Ces travaux évaluent un seul type de mouvement de la tête : le mouvement absolu où une orientation de la tête correspond aux mêmes coordonnées du pointeur. Nous allons évaluer en plus, le mouvement relatif qui s'apparente au mouvement de la souris.

3.2 L'interaction avec la main libre

Pour ce type d'interaction, il est nécessaire d'avoir des capteurs pour capturer le mouvement des mains. La caméra est utilisée pour une interaction à main levée avec les lunettes électroniques. Plusieurs travaux sont présents dans la littérature avec une caméra pour différents objectifs comme [253–255] qui utilisent la caméra RGB et discute de la faisabilité de leurs prototypes à travers des méthodes basées sur la vision. Une évaluation technique est réalisée dans ces travaux pour évaluer la précision de la détection mais les résultats ne sont pas assez performants.

Pour surmonter le problème de la précision des caméras RGB, plusieurs prototypes sont conçus pour capturer le mouvement de la main : CyclopsRing [256] propose un dispositif sous forme d'anneau, Digits [257] utilise deux petites caméras infrarouges placée sur le poignet pour pouvoir détecter la posture 3D complète

de la main et ShoeSense [258] qui utilise une caméra de profondeur Kinect placée sur les chaussures. Ces travaux présentent encore des taux d'erreurs importants sauf pour [258] qui montre une meilleure précision que tous les systèmes cités précédemment.

En termes d'applications développées, Huang et al. [259] propose Ubii afin de faciliter l'interaction entre le monde physique (objets de bureau) et le monde numérique. Les gestes de l'utilisateur sont capturés par la caméra des lunettes électroniques pour lui permettre de contrôler les objets dans son environnement. Nous trouvons WeARHand [260] qui propose la manipulation des objets 3D en réalité augmentée avec la main en utilisant une caméra de profondeur montée sur la tête. La manipulation des objets avec la main est plus présente avec les casques de réalité virtuelle car elle favorise l'immersion avec des gestes réalistes selon [261] qui démontre l'utilisabilité de la manipulation dans un environnement de jeu virtuel avec la main libre.

Les lunettes électroniques disponibles dans le marché, comme Hololens [262] et Meta 2 [263], offrent l'interaction à main libre pour manipuler les objets dans le monde virtuel. Certes les travaux cités traitent l'interaction avec la main libre, mais aucun travail n'évalue les performances de pointage sur les lunettes électroniques pour une interface 2D.

4 Techniques de pointage

Nous présentons quatre techniques de pointage sur des lunettes électroniques. Comme décrit ci-dessus, nous voulions concevoir des techniques de pointage pouvant être utilisées par des professionnels de santé dans une situation de mobilité. Nous décrivons d'abord notre technique de référence qui utilise l'interaction sur la surface tactile. Nous présentons ensuite trois techniques d'interaction adaptées à notre contexte : le mouvement absolu de la tête, le mouvement relatif de la tête et la main libre absolue.

4.1 Surface tactile (ST)

La technique de la surface tactile (ST) sur les lunettes électroniques fonctionne comme un pavé tactile sur un ordinateur portable. La surface tactile peut être sur un contrôleur spécifique connecté à des lunettes électroniques comme dans la figure 4.1 ou intégrée sur les branches des lunettes électroniques. L'utilisateur dirige le curseur en déplaçant son doigt sur la surface tactile. La position du curseur est relative. Plus la vitesse du doigt est grande, plus le mouvement du curseur est grand. Quelle que soit la mise en œuvre, localisée sur un contrôleur ou sur les branches des lunettes électroniques, la main de l'utilisateur est sollicitée.

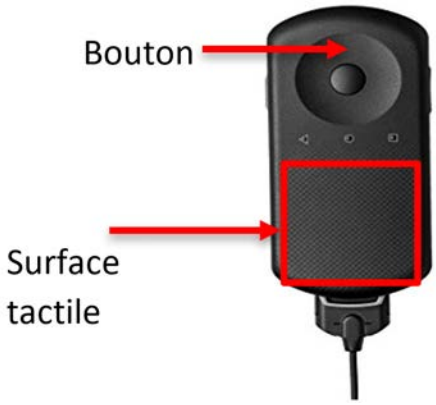


Figure 4.1 : Exemple de surface tactile sur les lunettes électroniques.

4.2 Mouvements de la tête (MAT et MRT)

Le mouvement de la tête est une technique permettant aux utilisateurs d'accomplir leur tâche même si la main est occupée. Pour diriger le curseur, l'utilisateur doit faire un mouvement de la tête. Les mouvements utilisés pour diriger le curseur sur l'écran sont « Pitch » (rotation sur l'axe des y) et « Yaw » (rotation sur l'axe des z) (cf. Figure 4.2 [264]). Le mouvement de « Yaw » correspond au déplacement horizontal du curseur et le mouvement de « Pitch » correspond au déplacement vertical du curseur. La position initiale du curseur au centre de l'écran des lunettes correspond à l'orientation initiale de la tête ($\theta_y = 0°, \theta_z = 0°$). Une fonction de calibrage est nécessaire pour rendre le curseur au centre si l'utilisateur veut changer l'orientation initiale de sa tête.

Nous avons développé deux techniques : le mouvement absolu de la tête (MAT) et le mouvement relatif de la tête (MRT). La position du curseur sur l'écran dépend de la technique utilisée car l'interprétation du mouvement de la tête diffère entre les deux techniques.

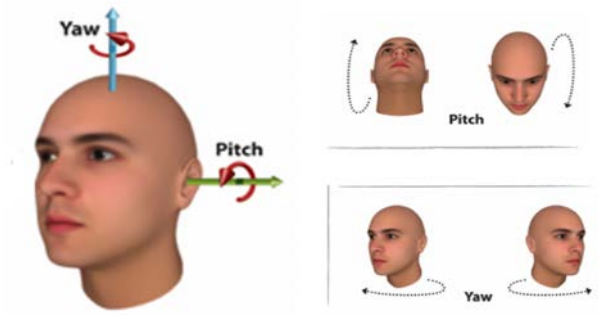


Figure 4.2 : Illustration de Pitch et Yaw[264].

4.2.1 Mouvement Absolu de la Tête (MAT)

Le curseur se déplace sur l'écran en fonction du degré de rotation θ. La position du curseur est absolue, c'est-à-dire que si l'utilisateur déplace sa tête de ($\theta_{z1} = 10°$)

vers l'Est à deux vitesses v_1 ou v_2 ($v_1 \neq v_2$), le curseur se déplace vers la même position (cf. Figure 4.3). Un degré de rotation correspond toujours aux mêmes coordonnées du curseur. Les rotations maximales pour arriver à l'extrémité de l'écran ($\theta_{ymax}, \theta_{zmax}$) sont des paramètres à fixer selon la technologie utilisée et le contexte d'usage.

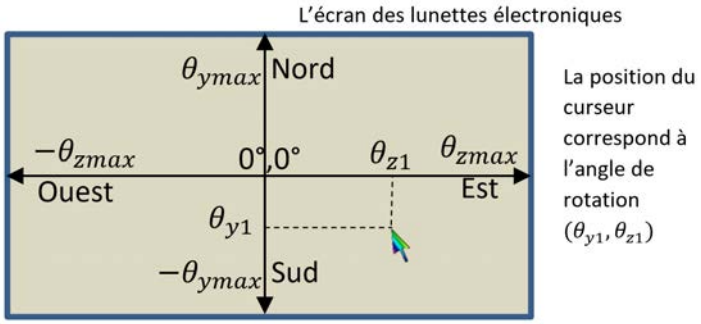


Figure 4.3 : Illustration de la rotation pour la technique MAT.

4.2.2 Mouvement Relatif de la Tête (MRT)

Le curseur se déplace à l'écran en fonction de la vitesse de rotation de la tête (la vitesse angulaire ω en rad/s). Plus la vitesse est grande, plus le mouvement du curseur est grand. Lors d'un mouvement de la tête, le curseur démarre de la dernière position sur l'écran et utilise la vitesse du mouvement de la tête. C'est-à-dire que si l'utilisateur déplace sa tête de ($\theta_{z1} = 10°$) vers l'Est avec deux vitesses différentes v_1 ou v_2 ($v_1 \neq v_2$), le curseur ne se situera pas à la même position. Cela peut amener à une décalibration à chaque fois si l'utilisateur n'arrive pas à bien contrôler la vitesse de ses mouvements.

Les déplacements du curseur en x et en y sont donnés par :

$$\Delta d_x = \omega_x r_x \Delta t \tag{4.1}$$

$$\Delta d_y = \omega_y r_y \Delta t \tag{4.2}$$

où ω_x et ω_y sont les vitesses angulaires selon l'axe x et l'axe y. r_x et r_y sont les rayons de rotations.

Le gain est une grandeur sans unité qui définit le facteur d'amplification des mouvements pour le contrôle d'un pointeur virtuel [265]. Nous avons choisi une fonction de gain constante quelque soit la vitesse de la tête, le curseur obtient cette vitesse.

$$gain = 1 \tag{4.3}$$

Le but est d'explorer la variation de la position du curseur par rapport à celle précédente et non pas les différentes fonctions de gains qui peuvent être appliquées.

Si l'utilisateur veut changer l'orientation initiale de sa tête, il peut calibrer le curseur et le ramener au centre en utilisant deux mouvements dans deux directions opposées avec deux vitesses différentes. Un exemple du mécanisme de calibration est illustré dans la figure 4.4. Ce mécanisme est un avantage pour cette technique

car il permet de recalibrer la position de départ en situation de mobilité quand le participant change souvent l'orientation initiale de sa tête. Par contre, il nécessite un temps de mouvement.

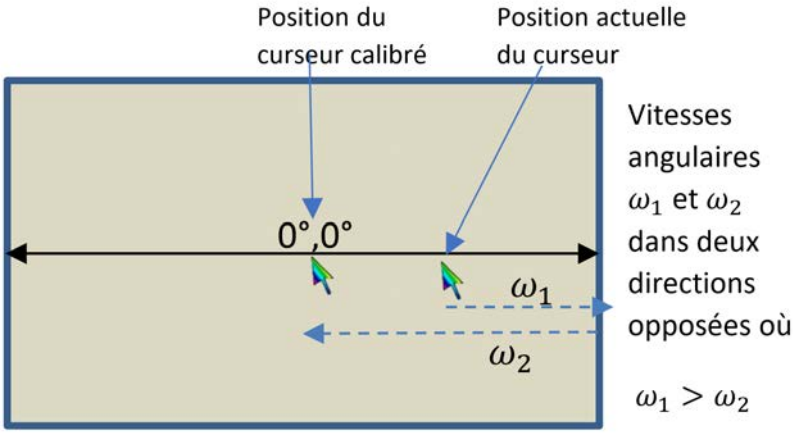


Figure 4.4 : Mécanisme de calibrage pour la technique MRT.

4.3 Main Libre Absolue (MLA)

L'utilisateur dirige le curseur avec son index comme illustré sur la figure 4.5. L'utilisateur doit placer la main dans une zone proche des lunettes électroniques. La position de l'index est capturée par la caméra 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.

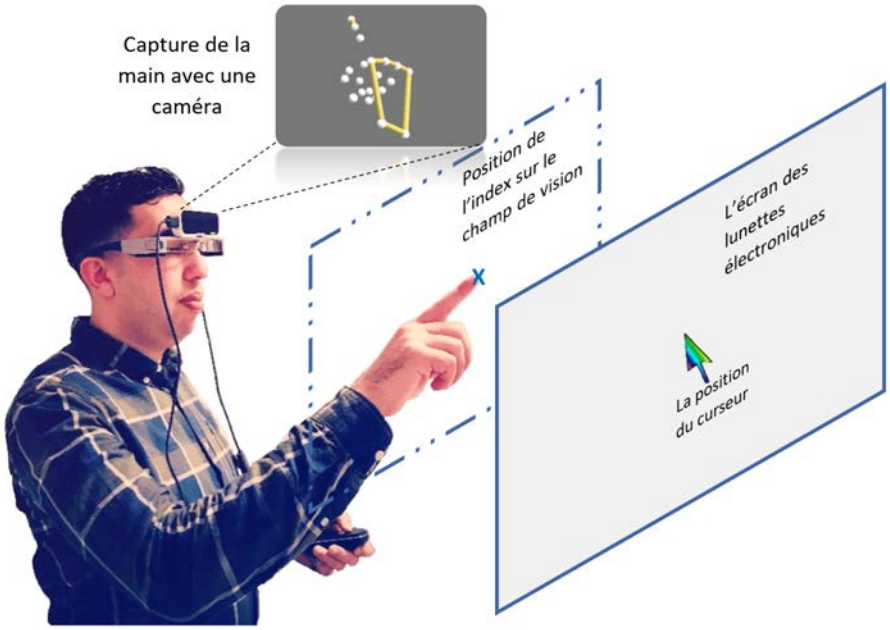


Figure 4.5 : Suivi de la main et positionnement du curseur sur l'écran des lunettes électroniques.

5 Étude expérimentale

Cette étude expérimentale a pour but d'évaluer les quatre techniques de pointage sur les lunettes électroniques en termes de performance et de confort.

5.1 Évaluation de la performance des techniques de pointage

5.1.1 La loi de Fitt et la norme ISO 9241-9

Avant de présenter notre méthodologie, nous discutons de la loi de Fitt et de la norme d'évaluation ISO 9241-9. Il est important de pouvoir mesurer et caractériser la performance pour pouvoir comparer les différentes techniques. La loi de Fitt [266] est l'une des lois fondamentales pour effectuer cette évaluation. Elle indique que le temps requis pour qu'un utilisateur déplace un curseur vers une zone cible est fonction du rapport entre la distance vers la cible et la largeur de la cible. Plus la distance est longue et plus la taille de la cible est petite, plus il faut de temps. Fitt a décrit comment ces deux métriques (distance D, largeur W) influencent l'indice de difficulté (ID) d'une tâche de pointage par la formule suivante :

$$ID = log_2\left(\frac{2D}{W}\right) \tag{4.4}$$

où l'unité de ID est le bit.

Plusieurs chercheurs ont reformulé la loi de Fitt ou proposé des dérivées. La formulation la plus utilisée est la formulation de Shannon proposé par Scott MacKenzie [267] avec l'ajustement de Crossman [268] donnée par :

$$ID_e = log_2\left(\frac{D_e}{W_e} + 1\right) \tag{4.5}$$

où la distance effective D_e est la moyenne des distances des points de départ aux points d'arrivée sur la cible et la largeur effective W_e est donnée par :

$$W_e = 4.133\sigma \tag{4.6}$$

où σ est l'écart-type des points d'arrivée sur la cible.

La régression linéaire permet de définir la relation linéaire entre le temps de mouvement MT et l'indice de difficulté. L'équation de la droite est donnée par :

$$MT = a + b \times ID_e \tag{4.7}$$

où MT est le temps d'achèvement entre le point de départ et le point d'arrivée sur la cible. La méthode des moindres carrés est utilisée pour trouver les paramètres d'ordonnée à l'origine (a) et de la pente (b). Cette équation est appelée l'équation de la loi de Fitt.

Donc pour la comparaison entre deux techniques ou dispositifs deux mesures sont les plus courantes : la vitesse et la précision. La vitesse est généralement représentée par le temps de mouvement (MT) et la précision par le taux d'erreur (le

pourcentage de sélections de cibles quand le curseur est en dehors de la cible). Ces mesures sont généralement analysées sur une large plage représentative d'indices de difficultés ID (avec différentes largeurs W et distances D) [269].

La norme ISO 9241-9 « Ergonomic design for office work with visual display terminals (VDTs)- Requirements for non-keyboard input » [270] spécifie la qualité du dispositif ou technique d'entrée non-clavier en termes de critères de performance à travers différents tests de performances : One-directional tapping test, Multi-directional tapping test, Dragging test, Path following test, Tracing test, Free-hand test et Grasp and park (homing) test.

Parmi les tests cités, nous allons utiliser dans notre protocole de test la tâche de sélection multidirectionnelle utilisée pour évaluer les mouvements de pointage dans de nombreuses directions différentes. Cette tâche consiste à positionner le curseur à l'intérieur d'une zone cible affichée sur l'écran. Des disques sont répartis sur un cercle. Un disque devient une cible lorsqu'il change de couleur. Le but est de sélectionner chaque cible présentée. Tous les disques deviendront à tour de rôle des cibles. Deux cibles consécutives sont diamétralement opposées. Le participant peut contrôler son curseur à l'aide d'une technique de pointage. La première cible ne compte pas car elle sert uniquement à démarrer le test. Une tâche de sélection multidirectionnelle à 9 cibles avec l'ordre des cibles est illustrée sur la figure 4.6.

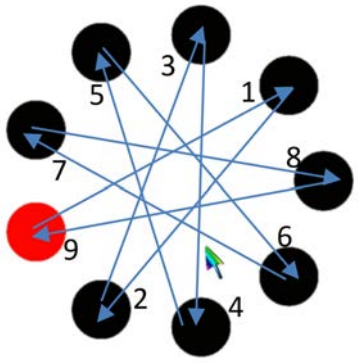


Figure 4.6 : ISO 9241 - tâche de sélection multidirectionnelle avec l'ordre des cibles, le disque rouge représente la première cible.

Le débit (TP), également connu sous le nom d'indice de performance est la métrique fondamentale et globale quantifiant la performance d'un dispositif ou d'une technique d'entrée dans cette norme ISO. Il est donné par :

$$TP = \sum_{i=1}^{y} \left(\frac{1}{x} \sum_{j=1}^{x} \frac{ID_{eij}}{MT_{ij}} \right) \tag{4.8}$$

où y est le nombre de participants qui ont testé la technique et x représente le nombre de conditions (les différentes variations de W et D). Cette mesure combine les effets des paramètres (a) et (b) du modèle de régression en une mesure facilement comparable. Par contre une seule valeur ne peut pas remplacer un modèle de régression [271].

La norme ISO 9241-9 fournit aussi un questionnaire de douze questions qui permet d'évaluer le confort et l'effort d'utilisation de la technique d'une manière subjective sur une échelle de 1 à 5.

5.1.2 Les mesures de précision de MacKenzie

Contrairement aux mesures précédentes qui sont basées sur une seule mesure par tâche de pointage, MacKenzie et al. [272] proposent sept mesures qui étudient le comportement du mouvement du curseur au cours d'une tâche de pointage.

Dans une tâche de pointage « parfaite », le participant pointe directement vers le centre de la cible (cf. Figure 4.7.a). Le mouvement que l'utilisateur effectue est différent de cela dans la pratique. La figure 4.7.b montre une tâche de sélection d'une cible et le chemin du curseur dans la pratique avec n points d'échantillonnage. Les sept mesures sont :

1. *Target Re-Entry (TRE)* : mesure si le curseur entre dans région de la cible, sort sans sélectionner la cible, puis rentre une autre fois. (cf. Figure 4.7.c).

2. *Task Axis Crossing (TAC)* : mesure si le curseur traverse l'axe de la tâche (une ligne droite entre la position du curseur et le centre de la cible) (cf. Figure 4.7.d).

3. *Movement Direction Change (MDC)* : mesure si la trajectoire du curseur change de direction par rapport à l'axe de tâche (Figure 4.7.e).

4. *Orthogonal Direction Change (ODC)* : mesure si la trajectoire du curseur change de direction par rapport à un axe orthogonal à l'axe de tâche (Figure 4.7.f).

5. *Movement Variability (MV)* : mesure si la trajectoire du curseur reste sur une ligne droite parallèle à l'axe de tâche. Il est mesuré par l'écart type des distances des points (x_i, y_i) du chemin du curseur par rapport à l'axe de tâche (transformé en $y = 0$).

$$MV = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \tag{4.9}$$

6. *Movement error (ME)* : est l'écart moyen des points du chemin du curseur par rapport à l'axe de tâche que les points soient au-dessus ou en dessous de l'axe de tâche.

$$ME = \frac{\sum |y_i|}{n} \tag{4.10}$$

7. *Movement offset (MO)* : est l'écart moyen des points du chemin du curseur par rapport à l'axe de tâche.

$$MO = \bar{y} \tag{4.11}$$

La figure 4.7.g montre une comparaison entre le MV, ME et MO.

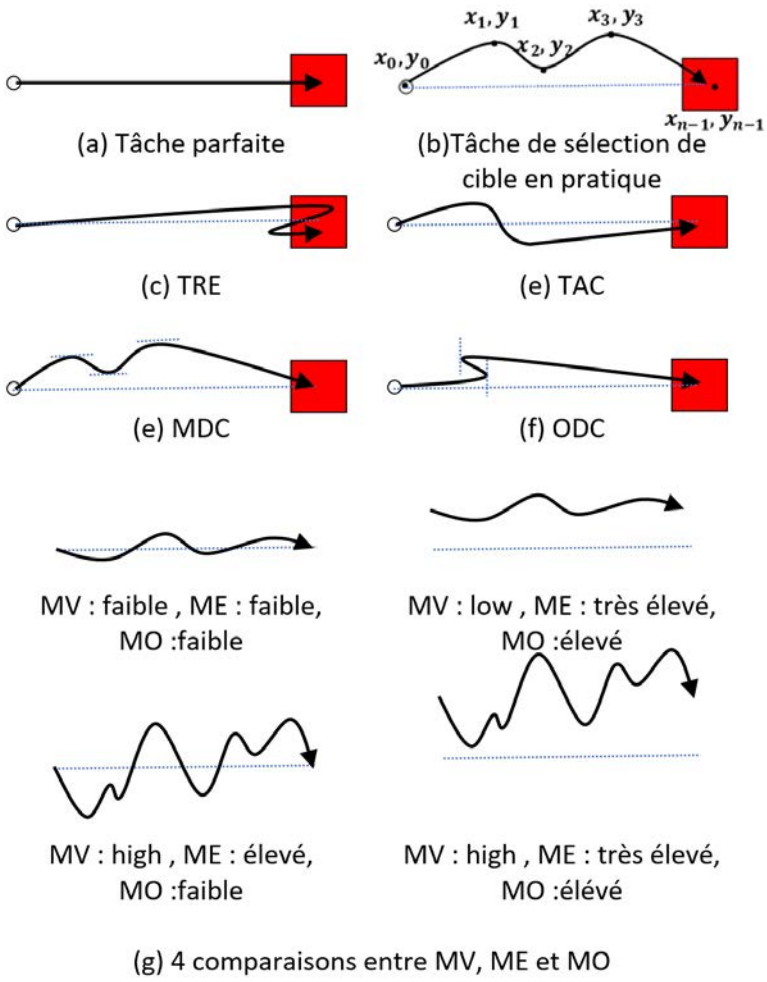


Figure 4.7 : Variation du chemin de pointage.

5.2 Tâche

Les participants doivent réaliser une tâche de pointage multidirectionnelle de la norme ISO 9241-9 à 9 cibles (sélection et de validation) comme illustrée sur la figure 4.6 avec quatre index de difficultés différentes (cf. Figure 4.8). Le curseur est placé au départ au centre du cercle. Un disque devient une cible lorsqu'il devient rouge. Le curseur est représenté par une flèche que le participant peut donc déplacer sur l'écran.

La tâche de pointage se termine par la validation de la sélection de la dernière cible. Aussi, quand il valide une cible correctement ou avec erreur (le curseur est en dehors de cible), un retour visuel est affiché (la cible sélectionnée correctement devient verte et la cible sélectionnée par erreur devient orange).

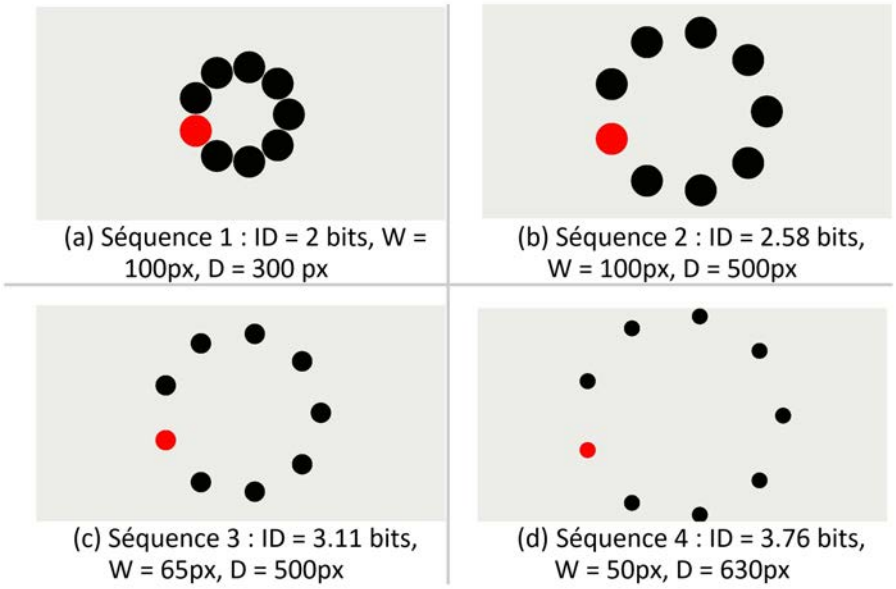


Figure 4.8 : Capture d'écran de la tâche de pointage expérimentale avec les différentes conditions de séquence.

5.3 Matériel

L'expérimentation a été réalisée en utilisant des lunettes électroniques Epson BT300 binoculaires. 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. Les lunettes peuvent se porter par-dessus des lunettes de vues. Elles fonctionnent sous un système d'exploitation Android 5.1. L'application de test est développée en Java en utilisant le SDK Android.

Les lunettes sont équipées avec les différents capteurs (GPS, boussole, gyroscope, accéléromètre, éclairage, etc.). Aussi, elles sont connectées à un contrôleur à travers un câble pour pouvoir s'en servir. Il contient une partie tactile servant de trackpad et des différents boutons. La technique de la surface tactile (ST) utilise les coordonnées fournies par ce trackpad.

Pour les deux techniques de mouvements de tête (MAT et MRT), et afin de capturer le degré de rotation de tête et la vitesse angulaire, nous avons utilisé les capteurs embarqués sur les lunettes électroniques : Rotation Vector Sensor pour MAT et Gyroscope Sensor pour MRT. Un seuil de $0.04 rad/s$ est appliqué afin de rejeter les mesures inférieures à ce niveau et qui sont potentiellement du bruit et non pas du mouvement réel. Un bouton est utilisé pour la fonction de calibrage. Pour la technique MAT, nous avons fixé les rotations maximales pour arriver à l'extrémité de l'écran : un mouvement horizontal de 20° vers l'Est (ou l'Ouest) ou un mouvement vertical de 10° vers le nord (ou le Sud).

Pour la technique MLA, nous avons utilisé une caméra de profondeur Fingo[1] pour éviter d'être gêné par des problèmes de suivi de la main lors de l'évaluation. Cette caméra n'est pas compatible avec le processeur des lunettes et fournit un SDK juste pour Unity. C'est pourquoi, elle est connectée à un ordinateur MacBook Pro (Intel Core i7 à 2,5 GHz, avec 4Go de RAM), qui tourne sous Windows 10.

[1] https://www.usens.com/fingo

Le participant n'a pas accès à l'affichage de l'ordinateur. L'ordinateur sert juste de serveur pour transmettre la position de l'index aux lunettes via le réseau WIFI. L'application de reconnaissance de la main et des doigts développée sous Unity est lancée sur l'ordinateur tout au long de l'expérimentation.

La caméra de profondeur est montée sur les lunettes (4.9). Elle est collée sur les bordures des lunettes de telle sorte qu'elle détecte la main dans le champ de vision des yeux. La main de l'utilisateur doit être positionnée à environ 45 cm de la caméra de profondeur pour une meilleure performance.

Figure 4.9 : Le matériel utilisé dans l'expérience.

Comme la tâche de validation n'était pas le but de notre étude, nous avons demandé aux participants de valider la cible sélectionnée avec un bouton situé sur le dispositif porté par la main.

Figure 4.10 : Configuration de la salle de test.

Le participant est confortablement assis, porte les lunettes et tient le contrôleur dans sa main. L'expérimentation s'est déroulée dans la même salle avec les mêmes conditions d'éclairage (volets de fenêtres fermés et lumières intérieures intégrées au plafond). La figure 4.10 montre la configuration de la salle.

5.4 Participants

Dix-huit participants bénévoles non rémunérés (12 hommes, 6 femmes) ont été recrutés parmi des étudiants de l'Université de Lorraine. Leur âge variait de 20 à 30

ans (voir le tableau 1). Tous les participants étaient des utilisateurs quotidiens d'ordinateurs et familiarisés avec la manipulation de la souris. 7 participants utilisent le trackpad tous les jours, 5 l'utilisent souvent, 6 rarement. Seulement 2 participants avaient déjà utilisé le mouvement de la tête pour contrôler un jeu. 5 participants avaient utilisé une caméra de profondeur mais pas de manière régulière. Aucun participant ne portait de lunettes de vue, les lunettes électroniques étaient un dispositif nouveau pour eux.

Tableau 4.1 : Répartition des participants par âge.

Intervalle d'âge	Fréquence
$[20-25]$	15
$[26-30]$	3

5.5 Procédure

Au début de l'expérimentation et avant de commencer les tests, chaque participant signe un formulaire de consentement. Nous fournissons une feuille qui explique aux participants le but de l'expérience, la tâche à accomplir et les dispositifs à utiliser. Nous leur demandons également de remplir un pré-questionnaire pour les connaître (cf. annexe B).

Pour commencer, nous présentons les quatre techniques aux participants. Ils s'entrainent avec les quatre techniques à travers une application de pre-test conçue pour les préparer au test. Ils sont amenés à sélectionner et valider 8 cibles pour chaque technique (cf. Figure 4.11). Durant le pre-test si le participant rencontre un problème, il peut solliciter l'expérimentateur. Les résultats du pre-test ne sont pas enregistrés mais les problèmes rencontrés sont notés. La répétition du pré-test n'est pas autorisée. Ce pre-test n'est proposé que pour la première session. Une fois le pré-test terminé, nous lançons l'application de test. Cette fois le participant ne peut solliciter personne durant le test.

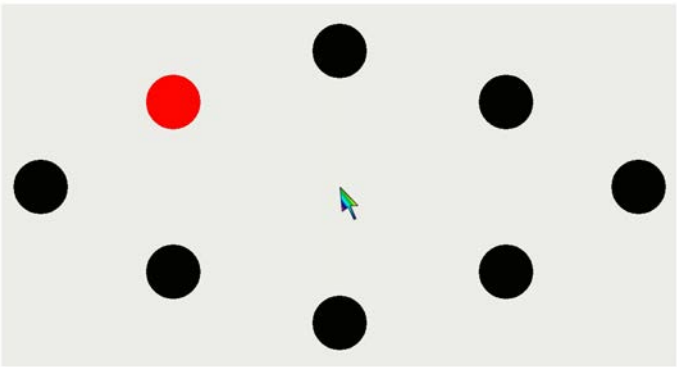


Figure 4.11 : Capture d'écran du pré-test.

Pour chaque technique de pointage, le participant effectue 2 blocs. Un bloc est un groupe de 4 séquences. Pour chaque séquence, les participants ont été invités à sélectionner neuf disques cibles d'une configuration donnée aussi rapidement et

précisément que possible. Chaque séquence correspond à une configuration (un index de difficulté ID). Selon la norme, 4 séquences en ordre croissant de difficulté ont été présentées (cf. Figure 4.8).

Chaque participant a testé toutes les techniques. Pour minimiser les effets d'apprentissage asymétriques d'une technique de pointage à l'autre, l'ordre de présentation des quatre techniques de pointage a été contrebalancé. Les participants sont divisés en quatre groupes et assignés au hasard à l'un des quatre groupes. La distribution est équilibrée entre les groupes (2 groupes de 5 et 2 groupes de 4). L'ordre suit un carré latin balancé : chaque technique précède et suit chaque autre technique un nombre égal de fois (cf. mTableau 4.2.

Tableau 4.2 : L'ordre de différentes techniques pour chaque groupe.

Groupe 1	ST	MAT	MRT	MLA
Groupe 2	MAT	MLA	ST	MRT
Groupe 3	MLA	MRT	MAT	ST
Groupe 4	MRT	ST	MLA	MAT

L'application commence par un écran de démarrage qui demande au participant d'appuyer sur le bouton pour commencer avec la première technique qui correspond au groupe auquel il appartient. Quand il termine le premier bloc avec les quatre séquences, le deuxième bloc est enchainé.

Entre deux techniques de pointage, un écran qui sépare les techniques est affiché. Il demande au participant d'appuyer sur le bouton pour continuer le test avec la technique suivante. Le participant peut faire une pause ou ajuster le curseur à la fin d'une technique ou même à la fin d'une séquence comme la première cible de chaque séquence sert juste à démarrer le test.

Le participant est invité dans une seconde session dans les mêmes conditions, mais cette fois sans faire le pré-test. Le planning du passage à la deuxième session est géré de la sorte que le participant effectue la deuxième session dans un délai compris entre 24 heures et 72 heures après la première session. D'une session à l'autre, les participants sont affectés à un groupe différent.

À la fin de la seconde session nous leur demandons de classer les différentes techniques selon leurs préférences. Cette question est accompagnée avec un questionnaire SUS pour mesurer l'utilisabilité de chaque technique et des questions basées sur les questionnaire ISO 9241-9. Ce questionnaire est composé de sept questions couvrant les aspects de fonctionnement, d'effort (mental et physique), de confort, de rapidité, de précision et de convivialité générale. Les participants répondent à chaque question avec une note sur une échelle de Likert à 5 points. Nous demandons également aux participants de noter des commentaires sur l'expérimentation et les techniques sur une zone de commentaires libres et nous échangeons avec eux sur ces commentaires.

5.6 Conception

Notre étude suit un plan 4×2 intra-sujets avec comme facteurs : technique de pointage (ST, MAT, MRT, MLA), session (S1, S2). Les variables dépendantes sont le

débit, le temps de déplacement et le taux d'erreur. L'indice de difficulté ID représenté par la séquence (cf. Figure 4.8) est une variable indépendante supplémentaire pour s'assurer que le participant est confronté à une large gamme représentative de difficultés. La session est incluse pour vérifier l'effet d'apprentissage et le bloc est inclus pour collecter plusieurs points d'échantillonnage pour chaque condition.

5.7 Données

Au cours de cette étude, nous avons enregistré chaque tâche de pointage (sélection et validation). Avec 18 participants, 4 techniques, chaque technique a 2 sessions, chaque session contient 2 blocs, chaque bloc contient 4 séquences et chaque séquence contient 9 disques.

$18 \times 4 \times 2 \times 2 \times 4 \times 9 = 10368$ tâches

Pour chaque tâche, nous avons enregistré le point de démarrage, le point de validation et le temps de déplacement entre les deux points avec les différentes propriétés (D,W, numéro de bloc, numéro de session et la technique. Nous avons également enregistré les points du chemin du curseur. Ces données sont enregistrées sous format CSV pour une meilleure lisibilité, traitement et analyse.

En plus des données collectées pendant l'interaction, nous avons recueilli :

- Le classement des techniques par ordre de préférence.
- L'utilisabilité de chaque technique via le questionnaire SUS.
- L'évaluation de la performance via un questionnaire ISO 9241-411 qui évalue la performance, le confort et les efforts liés à l'utilisation de techniques de pointage.
- Les commentaires des participants et les observations que nous avons notés durant l'expérimentation.

6 Résultats

L'expérimentation a duré 48 minutes en moyenne (26 minutes en moyenne pour la première session et 22 minutes en moyenne pour la deuxième session).

6.1 Débit, taux d'erreur et modèle de régression

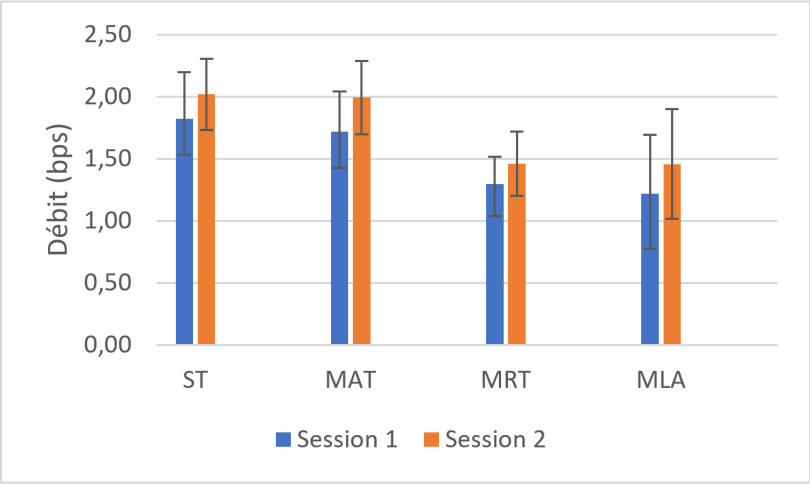


Figure 4.12 : Débit par session pour les différentes techniques.

La figure 4.12 montre le débit (bits par seconde) en moyenne de tous les participants par technique et par session. Le débit est $1.82bps$ (session 1 $sd = 0.37$) et $2.02bps$ (session 2 $sd = 0.28$) pour la technique ST, $1.72bps$ (session 1 $sd = 0.32$) et $1.99bps$ (session 2 $sd = 0.30$) pour la technique MAT, $1.30bps$ (session 1 $sd = 0.22$) et $1.46bps$ (session 2 $sd = 0.26$) pour la technique MRT et $1.22bps$ (session 1 $sd = 0.48$) et $1.46bps$ (session 2 $sd = 0.44$) pour la technique MLA.

Nous avons effectué une analyse de variance à deux facteurs 4×2 sur le débit par session et par technique. Le débit dans la deuxième session est significativement supérieur à celui de la première session ($F_{1,136} = 14.495, p < .001$). Aussi, l'effet de la technique est significatif ($F_{3,136} = 28.656, p < .001$). Des tests post-hoc de Tukey sur la technique sont effectués. Les comparaisons effectuées à l'aide du test Tukey ont révélé que : ST et MRT, ST et MLA, MAT et MRT, MAT et MLA) sont significativement différents ($p < .001$). Cependant, les techniques ST et MAT ($p > .05$), MRT et MLA ne sont pas significativement différentes. Il n'y a pas d'interaction significative entre la technique et la session ($F_{3,136} = 0.169, p > .05$).

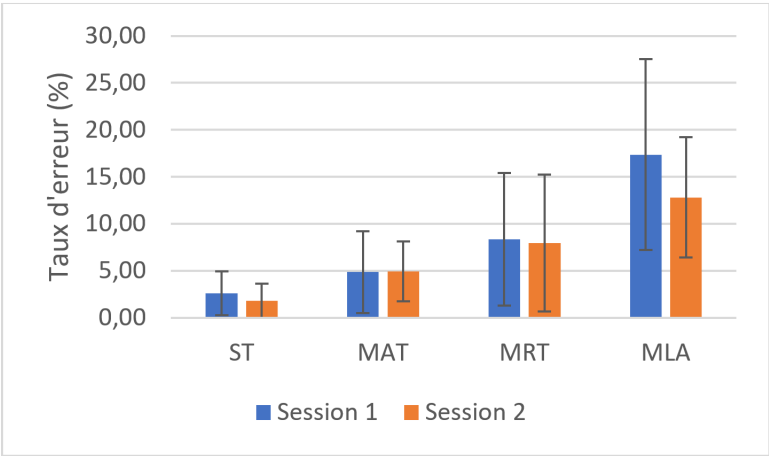


Figure 4.13 : Taux d'erreur par session pour les différentes techniques.

La figure 4.13 montre le taux d'erreurs (%) en moyenne de tous les participants par technique et par session. Le taux est 2.62% (session1 $sd = 2.33$) et 1.77% (session 2 $sd = 1.83$) pour la technique ST, 4.86% (session 1 $sd = 4.35$) et 4.94% (session 2 $sd = 3.20$) pour la technique MAT, 8.33% (session 1 $sd = 7.07$) et 7.95% (session 2 $sd = 7.27$) pour la technique MRT et 17.36% (session 1 $sd = 10.15$) et 12.81% (session 2 $sd = 6.42$) pour la technique MLA.

Nous avons effectué une analyse de variance à deux facteurs 4×2 sur le taux d'erreur par session et par technique. L'effet de la session sur le taux d'erreur n'est pas significatif $(F_{1,136} = 2.059, p > .05)$. Cependant, l'effet de la technique sur le taux d'erreur est significatif $(F_{3,136} = 31.251, p < .001)$. Des tests post-hoc de Tukey sur la technique sont effectués. Les comparaisons effectuées à l'aide du test du Tukey ont révélé que : ST et MRT, ST et MLA, MAT et MLA, MRT et MLA sont significativement différents $(p < .001)$. Cependant, les techniques TS et MAT $(p > .05)$, MAT et MRT ne sont pas significativement différent. Il n'y a pas d'interaction significative entre la session et la technique $(F_{3,136} = 1.132, p > .05)$.

Nous analysons maintenant les résultats de la deuxième session qui présente un débit plus élevé par rapport à la première session pour toutes les techniques. Nous utilisons le modèle de Fitt basé sur la régression linéaire des deux variables MT (temps de mouvement) et ID_e (l'indice de difficulté effectif). Le tableau 4.3 et la figure 4.14 montrent la représentation graphique et l'équation pour chaque technique avec les valeurs de corrélation (r^2). Les valeurs r^2 obtenues pour les équations sont supérieures à 0,8. Nous concluons que les quatre techniques sont conformes à la loi de Fitts [251].

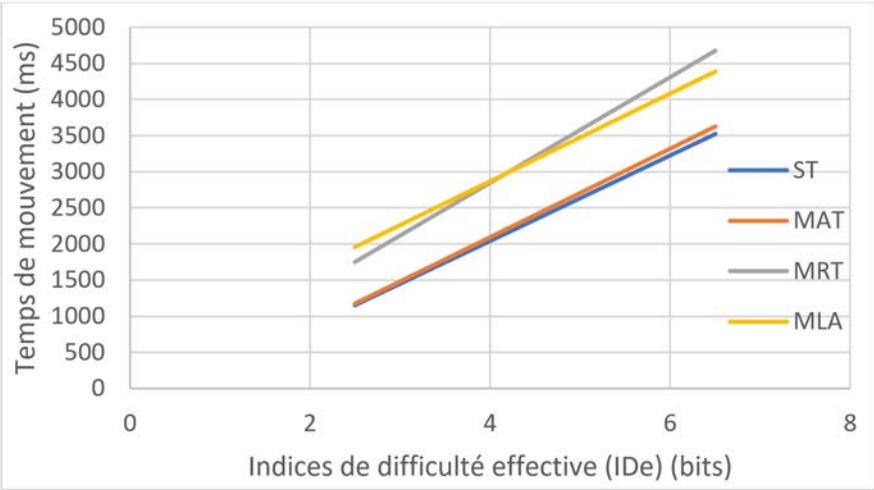


Figure 4.14 : Modèle de loi de Fitt pour les quatre techniques (session 2).

Tableau 4.3 : Les équations de régression sont de la forme $MT = a + b \times ID_e$.

	Paramètres		
	a	b	r^2
ST	−326.47	592.71	0.923
MAT	−361.57	613.58	0.993
MRT	−81.762	732.09	0.927
MLA	437.08	607.5	0.834

D'autres analyses ont été menées pour examiner l'influence de la largeur de la cible sur les taux d'erreur. La figure 4.15 montre le taux d'erreur pour chaque largeur cible W. Le taux pour $W = (100, 65, 50)$ est de $(0,31\%, 2,16\%, 4,32\%)$ pour la technique ST, $(1,70\%, 7,72\%, 8,64\%)$ pour la technique MAT, $(5,71\%, 8,33\%, 12,04\%)$ pour la technique MRT et $(8,49\%, 12,35\%, 21,91\%)$ pour la technique MLA.

Nous avons effectué une analyse de variance à deux facteurs 4×3 sur le taux d'erreurs par largeur de cible et par technique. L'effet de la largeur de la cible est significatif ($F_{2,204} = 19.745, p < .001$). En outre, l' effet de la technique est significatif : ($F_{3,204} = 25.495, p < .001$). Des tests post-hoc de Tukey sur la largeur de la cible ont été effectués. Les comparaisons effectuées à l'aide du test Tukey ont révélé que : la différence entre le taux d'erreur avec une largeur de cible différente est significative ($p < .05$). Il n'y a pas d'interaction significative entre la largeur de la cible et la technique $F_{6,204} = 1.907, p > .05$).

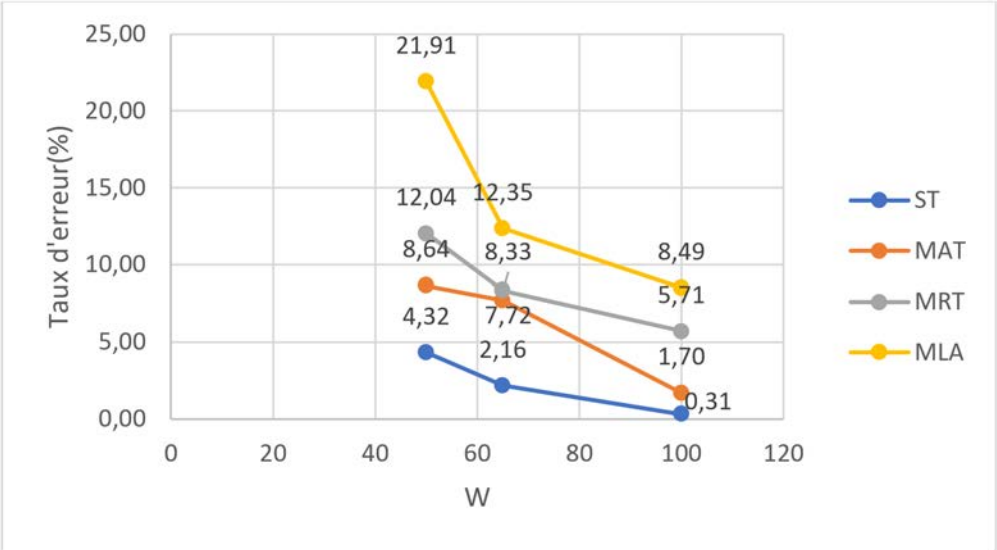


Figure 4.15 : Taux d'erreur par largeur W de la cible (session 2).

6.2 Latence

La technique MLA est basée sur le suivi 3D du mouvement de la main. Les périphériques d'entrée 3D ont un bruit de suivi et une latence [273]. Ce facteur peut dégrader les performances. Le délai augmente plus en raison de la communication réseau utilisée. Nous avons examiné le délai du système pour nous assurer qu'il est minimisé et n'influence pas trop les résultats.

La latence, ou retard (LAG), est le retard dans les mises à jour de la position de l'appareil [274]. Il a déjà été étudié dans des travaux antérieurs sur la performance dans des tâches 2D et 3D [273, 275–277]. Mackenzie et al. [275] formalisent ce décalage et l'introduisent dans l'équation 4.7 de la régression linéaire sous la forme :

$$MT = a + (b + LAG) \times ID_e \tag{4.12}$$

Le retard de la technique provient de deux sources : la latence de la caméra Fingo (30 ms selon la documentation technique) et la latence liée à notre connexion WIFI

qui s'élève à 10ms après plusieurs tests. Le modèle prédit pour la technique MLA est :

$$MT = 437.08 + (607.5 + LAG) \times ID_e \tag{4.13}$$

avec un $LAG = 0$, cela réduit à :

$$MT = 437.08 + 567.5 \times ID_e \tag{4.14}$$

Cela peut améliorer le débit à $1,36bps$ (comparé à $1,34$ avec décalage). La latence est négligeable dans notre étude car il n'a pas affecté les résultats.

6.3 Les mesures de précision de MacKenzie

Le tableau 4.4 et la figure 4.16 montrent les moyennes, les écarts types et la valeur de F de Fisher pour l'analyse de variance. Pour toutes les mesures, il y a des différences significatives parmi les quatre techniques. Aussi, pour toutes les mesures, les scores les plus bas sont les meilleurs sauf pour MO ou le score le plus proche de 0 est le meilleur. Les unités du tableau 4 sont « nombre moyen par tâche de sélection » pour TRE, TAC, MDC et ODC ; et "pixels" pour MV, ME et MO.

Tableau 4.4 : Moyennes et écarts types des mesures de précision pour chaque technique.

Variables	ST		MAT		MRT		MLA		F
	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	
Target re-entry (TRE)	0.06	0.03	0.19	0.06	0.07	0.04	0.43	0.26	28.98 ***
Task Axis Crossing (TAC)	0.88	0.15	1.37	0.11	0.72	0.17	2.33	0.63	82.30 ***
Movement Direction Change (MDC)	1.68	0.17	3.29	0.45	1.41	0.26	5.35	1.44	99.90 ***
Orthogonal Direction Change (ODC)	0.80	0.21	1.52	0.41	0.56	0.22	3.07	1.31	56.89 ***
Movement Variability (MV)	28.88	4.54	24.78	4.43	30.89	6.89	25.99	2.74	5.81 **
Movement Error (ME)	32.89	3.90	26.65	4.48	48.65	9.68	24.97	1.79	63.41 ***
Movement Offset (MO)	-0.27	4.22	-0.31	5.05	-8.70	10.45	0.54	2.41	8.65 ***

*** $p < .001$; ** $p < .01$

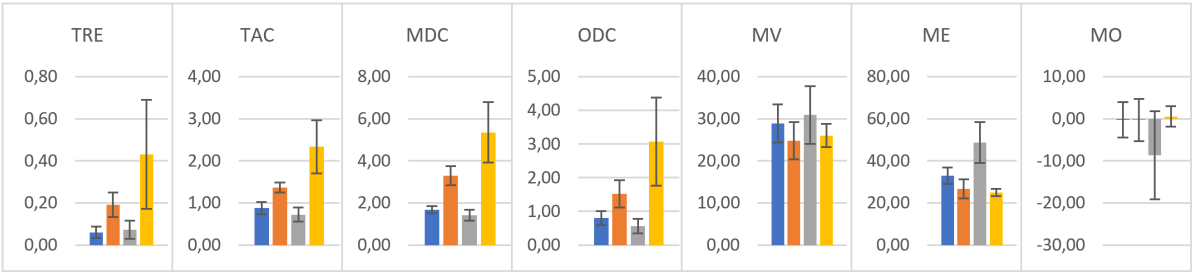


Figure 4.16 : Mesures de précision pour les quatre techniques.

6.4 Retour des participants

6.4.1 Utilisabilité et préférences utilisateurs

Les résultats des questionnaires SUS (cf. Figure 4.17) indiquent une meilleure utilisabilité pour les techniques ST et MAT respectivement 89.44 (sd 12.88) et 85.69 (sd 9.92) suivis par la technique MRT avec un score de 61.81 (sd 22.42) puis par la technique MLA avec un score de de 47.50 (sd 23.46).

Une ANOVA à une variable a montré que la technique a un effet significatif sur le score ($F_{3,68} = 21.592, p < .001$). Le test post-hoc de Tukey montre que les techniques sont significativement différentes sauf pour la technique ST et MAT, MRT et MLA ($p > .05$).

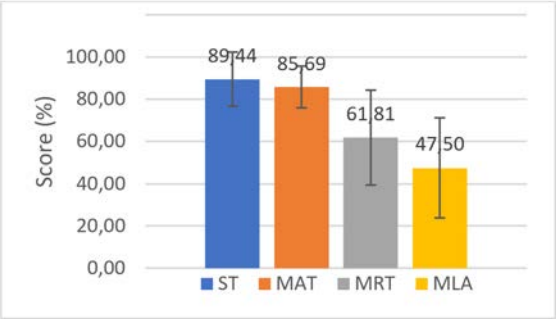


Figure 4.17 : Score SUS pour les quatre techniques.

Nous avons également demandé aux participants de classer la technique par ordre de préférence. 5 participants ont préféré la technique ST, 10 participants ont préféré la technique MAT, 3 participants ont préféré la technique MRT et aucune personne n'a préféré la technique MLA. Nous avons attribué un score global entre les différentes positions sur une échelle de 4 (3 points pour la 1ère position et 0 pour le 4ème position). La figure 4.18 affiche le score reçu pour chaque technique sur une échelle de 100.

Les résultats de Chi-squared test ($\chi^2(9) = 50.22, p < 0.001$), suggèrent qu'il y a une différence significative parmi les techniques de pointage.

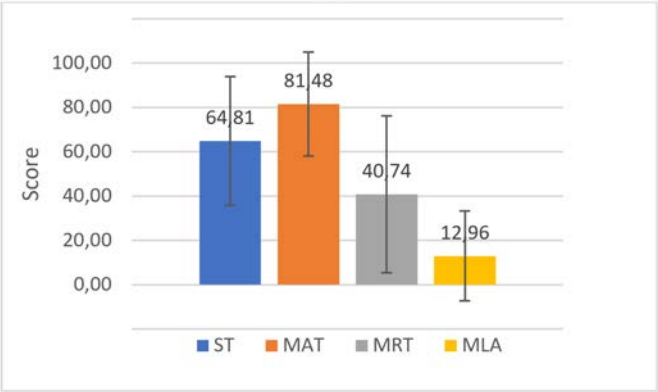
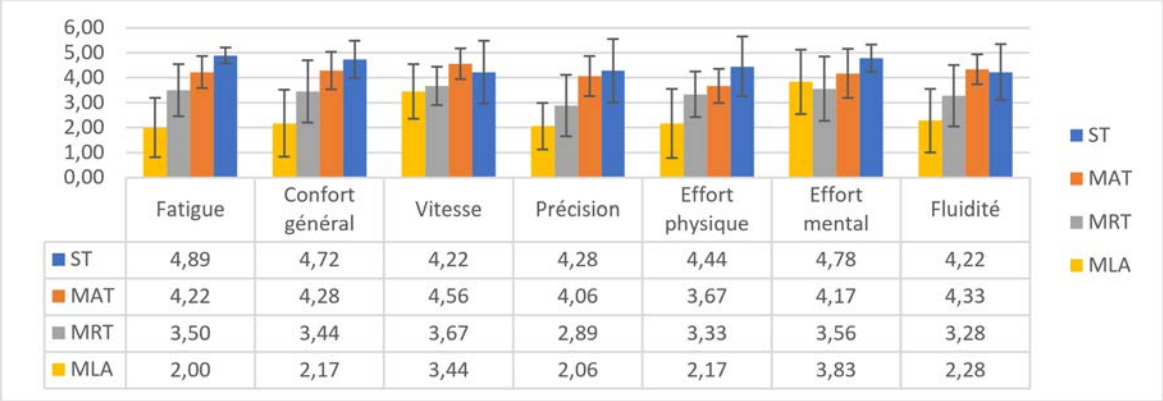


Figure 4.18 : La préférence des participants pour les quatre techniques.

6.4.2 Effort et confort

La moyenne obtenue et les écarts types pour chaque question du questionnaire ISO 9241-9 sont présentés sur la figure 4.19. La valeur 3 correspond au point médian et les valeurs inférieures à 3 sont négatives. Nous avons effectué une analyse de variance à deux facteurs 4×7 sur le score par questions et techniques. L'effet de la question est significatif ($F_{6,476} = 5.359, p < .001$). Aussi, l'effet de la technique est significatif ($F_{3,476} = 89.305, p < .001$).

Des tests post-hoc de Tukey sur la technique sont effectués. Les comparaisons effectuées à l'aide du test Tukey ont révélé que : ST et MRT, ST et MLA, MAT et MLA, MAT et MRT, MRT et MLA) sont significativement différents ($p < .001$). Cependant, les techniques ST et MAT ($p > .05$) ne sont pas significativement différents.



	Fatigue	Confort général	Vitesse	Précision	Effort physique	Effort mental	Fluidité
ST	4,89	4,72	4,22	4,28	4,44	4,78	4,22
MAT	4,22	4,28	4,56	4,06	3,67	4,17	4,33
MRT	3,50	3,44	3,67	2,89	3,33	3,56	3,28
MLA	2,00	2,17	3,44	2,06	2,17	3,83	2,28

Figure 4.19 : Note moyenne pour les différentes questions de confort et d'effort pour les quatre techniques. Dans tous les cas, un score élevé est meilleur (par exemple, pour un effort physique et mental, un score élevé indique moins d'effort).

6.4.3 Commentaires et observations

Nous avons noté les remarques informelles des participants et aussi les commentaires écrits sur la zone de commentaires libres. La remarque la plus fréquente concerne la fatigue lors de l'utilisation de la technique MLA : « *mal au bras au bout d'un moment* », « *le mouvement avec la main libre était pour moi le plus compliqué surtout lors d'une sélection d'une petite cible à cause du curseur qui s'agitait tout le temps* » , « *main libre à long terme, une fatigue de bras se fait ressentir* » , « *main libre très difficile à garder calme* » et « *gêne lors du mouvement main libre pour garder le bras levé longtemps* ». Cela pourrait beaucoup affecter les résultats d'acceptabilité ou d'usage plus long.

Pour la technique MRT, les participants déclarent « *obligé de recalibrer souvent* », « *la technique du mouvement relatif de la tête se décalibre facilement* ». Cependant, les utilisateurs ont trouvé que : « *le mouvement absolu de la tête amusant à l'utiliser* », « *mouvement absolu de la tête efficace* » « *La surface tactile et le mouvement absolu de la tête étaient faciles à utiliser* » « *surface un peu petite mais assez précise et rapide. Aussi, le mouvement absolu de la tête est assez pratique mais demande quand même un ajustement sur les petites cibles* ». Entre le mouvement absolu de la tête et la surface tactile, un participant a noté « *Tout dépend du contexte d'utilisation je choisirais la surface tactile ou le mouvement absolu de la tête* ».

Les avis des participants convergent vers nos observations durant l'expérimentation. Concernant la technique ST et MAT, les participants effectuent l'expérimentation très normalement. Par contre, pour la technique MRT, certains participants étaient perdus avec le calibrage. Pour eux, il n'était pas intuitif. Ensuite, pour la technique MLA, les participants ont eu du mal avec la fatigue, la posture et la position de la main. Les participants devaient garder leurs mains suspendues dans

l'air. Après un certain temps, cela les a amenés à ressentir une douleur dans le bras et la nécessité de faire une pause. Ils devaient garder l'index très apparent devant les yeux (lunettes et caméra), pour une meilleure détection de sa position, mais certains participants avaient l'index très incliné et penché, ce qui le rendait invisible pour la caméra et entrainait une perte de précision. Finalement, quelques participants n'ont pas réussi à bien positionner leur index pour avoir la bonne position du curseur.

Des commentaires des participants aussi sur les lunettes électroniques : « *lunettes mal adaptées à ma tête* », « *à force d'utiliser les lunettes, les yeux se fatiguent. Je n'ai pas l'habitude de porter des lunettes, la pression sur les arêtes du nez sont dérangeantes* ».

7 Discussion

Les résultats obtenus montrent qu'il y a un effet d'apprentissage entre la première et la seconde session. Ce résultat était attendu car les participants ont découvert la tâche de pointage pour la première fois et n'ont jamais utilisé de lunettes électroniques. Le temps de mouvement augmente linéairement avec l'indice de difficulté pour les quatre techniques.

En termes de débit, nous pouvons dire que les deux techniques ST et MAT sont les plus performantes sans différence significative. Les deux autres techniques MRT et MLA ont le même débit pour la deuxième session sans différence significative. 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, comme le montre la figure 4.15. 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.

La technique de MLA présente un taux d'erreur important. La figure 4.15 montre la grande hausse de taux d'erreur pour la technique MLA pour W=50 qui confirme que 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 s'expliquer par le fait que certains participants étaient plus performants que d'autres.

Pour les mesures de précision de MacKenzie, la différence la plus remarquable et évidente est entre la technique MLA et les autres techniques pour les quatre premières mesures (TRE, TAC, MDC, ODC) où MLA est la moins performante. Nous remarquons que MLA montre beaucoup d'événements imprécis par rapport à la tâche de pointage parfaite, ce qui explique bien son faible débit. Une hésitation et une imprécision lors de la sélection de la cible montre la mesure TRE qui explique le taux d'erreur important. Les participants n'ont pas pu positionner le curseur à l'intérieur d'une cible et le garder dedans jusqu'à sélectionner la cible correctement. Pour les trois autres mesures, nous remarquons que la technique MRT se démarque des autres ce qui se traduit par une déviation significative de la trajectoire du curseur sur l'axe de la tâche qui représente la trajectoire parfaite pour avoir un

temps de mouvement faible (un débit élevé). Les participants n'ont pas pu contrôler le curseur pour rester sur la trajectoire à cause du contrôle difficile de la vitesse du mouvement, ce qui explique le temps de mouvement élevé pour cette technique et son débit assez faible par rapport aux deux techniques ST et MAT.

Sur l'ensemble des mesures les techniques ST et MAT sont les plus performantes mais la technique ST est meilleure que MAT sur les quatre mesures (TRE, TAC, MDC, ODC). La mesure TRE explique le taux d'erreur relativement plus élevé pour la technique MAT. Ce n'est pas surprenant, car les participants avaient beaucoup de confiance dans la vitesse de la technique. Les mesures TAC, MDC, ODC, montrent qu'il y a des changements de direction pour la technique MAT contrairement à la technique ST. Cependant, la technique MAT est plus performante que la technique ST sur les trois mesures (MV, ME, MO) : les participants arrivent à rester sur la l'axe plus facilement qu'avec un mouvement relatif (avec un contrôle difficile de la vitesse du mouvement).

Les résultats du questionnaire SUS indiquent une meilleure utilisabilité pour les techniques ST et MAT suivies par la technique MRT puis la technique MLA, ces résultats convergent vers les résultats des autres mesures. Par ailleurs, bien que la technique MAT soit moins familière aux utilisateurs que la technique ST, ils la trouvent facile à utiliser et la préfèrent à la technique ST.

Avec le questionnaire ISO 9241-9, la technique MLA est mal évaluée par rapport aux autres techniques pour toutes les questions sauf la question sur l'effort mental. Les scores les plus faibles étaient pour la fatigue où les participants ont rapporté qu'ils sentaient une douleur au bras à la fin de l'expérimentation. Ils ont indiqué qu'ils ne pouvaient pas sélectionner une cible avec précision. De plus, la technique n'est pas confortable pour eux. 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.

8 Conclusion et perspectives

Nous avons exploré quatre techniques de pointage sur les lunettes électroniques : Surface Tactile (ST), Mouvement Absolu de la Tête (MAT), Mouvement Relatif de la Tête (MRT) et Main Libre Absolu (MLA). Nous avons conduit une expérimentation avec 18 participants. Le prototype réalisé, nous a permis de démontrer les points forts et les points faibles de ces techniques et de les comparer sur des lunettes électroniques. Nous avons constaté que les deux techniques ST et MAT sont les meilleures en termes de performances et d'utilisabilité mais nous pouvons dire que la technique du mouvement absolue de la tête est la meilleure parmi les techniques qui ne nécessitent pas de tenir un dispositif supplémentaire.

Quant à la technique MLA, elle est très prometteuse dans des scénarios réalistes où l'interaction n'aurait lieu que de manière occasionnelle ou moins intense. Il est important de noter que nous avons évalué ces techniques seulement pour un pointage de cibles et pas pour d'autres types d'interaction que ces techniques permettent. Beaucoup de chercheurs et d'entreprises accordent beaucoup d'attention à ces techniques d'interaction à main libre. Selon le rapport publié par Market-

sandMarkets, l'application dans le domaine de la santé devrait devenir un marché important pour les technologies mains libres en 2022 [278].

Dans notre expérimentation, la technique ST était une référence pour évaluer les techniques de mouvement de la tête et celle à mains libres. ST est la technique la plus courante pour l'utilisateur, mais malheureusement pas la plus appropriée dans le contexte des soins de santé car l'utilisateur doit tenir un dispositif supplémentaire dans sa main. Notre étude a montré qu'il existe une alternative : le mouvement absolu de la tête.

Nous précisons que la technique MRT est testée avec une seule fonction de gain. Les résultats dans l'étude sont valables que pour cette fonction. Le changement de la fonction de gain peut influencer sur les performances de pointage [279]. Une possibilité est d'optimiser le profil de la fonction de gain pour améliorer les performances.

Nos participants étaient principalement des étudiants. Les résultats de notre travail devraient être vérifiés avec une population plus diversifiée afin d'étudier plus profondément les performances et d'étudier l'acceptabilité sociale qui influence beaucoup l'adoption de ces techniques par le grand public dans la vie quotidienne. Les prochaines étapes comprendront des tests utilisant à la fois des professionnels de santé et une population plus générale.

Pour nos futurs travaux, nous envisageons d'étudier comment améliorer ces techniques et surtout la technique de la main libre absolue. Ensuite, il s'agira de proposer une autre technique pour la validation afin de remplacer le bouton utilisé est une priorité. L'objectif est de pointer sans tenir dans la main un dispositif supplémentaire. La technique de validation doit être étudiée car l'utilisation d'un bouton sur un appareil distant ne convient pas dans un contexte où les utilisateurs ont besoin de liberté avec leurs mains. Une possibilité serait d'utiliser un capteur de proximité sur les branches des lunettes comme il en existe un sur le prototype de notre projet eGlasses.

Publications liées à ce chapitre

[280] Belkacem, I., Pecci, I., & Martin, B. (2017, June). Pointing task on smart glasses : Comparison of four interaction techniques. In arXiv preprint arXiv :1905.05810. ACM.

Chapitre 5

L'entrée de texte sur les lunettes électroniques

***

Si vous ne pouvez pas expliquer quelque chose simplement, c'est que vous ne l'avez pas bien compris.

Albert Einstein

Sommaire

1 Introduction 129
2 Motivation : Contexte de santé 130
3 Travaux connexes 131
4 Description du prototype 135
5 Étude préliminaire : exploration des gestes 136
6 Étude expérimentale 1 : fiabilité du dispositif 138
7 TEXTile : notre technique d'entrée de texte 141
8 Étude expérimentale 2 : évaluation de la technique d'entrée de texte 144
9 Discussion 149
10 Conclusion et perspectives 149

1 Introduction

Au chapitre précédent, nous avons étudié différentes techniques de pointage pour interagir avec les lunettes électroniques et naviguer dans le dossier patient. Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la saisie de données avec les lunettes électroniques et en particulier à l'entrée de texte. Au cours de l'utilisation des lunettes, l'entrée de texte est une fonction importante pour interagir sur de nombreuses applications. L'utilisateur a parfois besoin de saisir du texte pour chercher une information, répondre à un message ou écrire une note. Comme l'utilisateur reçoit des

informations sur l'écran des lunettes, il doit également rester attentif à l'environnement réel tout en étant en situation de mobilité. L'utilisateur qui porte des lunettes ne peut donc pas regarder un autre dispositif pour la saisie, ce qui exclut plusieurs techniques d'entrée de texte courantes utilisées dans le cadre des ordinateurs de bureau ou appareils mobiles. Au lancement des premières lunettes électroniques commerciales Google Glass [231], la technique d'entrée de texte principale utilisait la reconnaissance vocale. Pourtant, cette technique est inappropriée dans les environnements partagés parfois bruyants [232] et n'est pas appréciée par les utilisateurs dans les endroits publics [233]. Il existe un fort besoin de développer des techniques d'entrée de texte pour les lunettes électroniques plutôt que d'adopter celles qui sont déjà disponibles [281].

Dans ce chapitre, nous proposons une nouvelle technique d'entrée de texte appelée « TEXTile ». Cette technique utilise comme périphérique un nouveau tissu tactile placé sur l'avant-bras et connecté aux lunettes. Nous avons lancé un sondage en ligne pour identifier les gestes les plus confortables à utiliser sur ce dispositif. Nous avons ensuite construit une grammaire de gestes, base de notre langage d'interaction pour la saisie de texte. Deux tests utilisateurs ont été menés : le premier pour montrer la performance et la fiabilité du périphérique utilisé et le second pour étudier la performance de notre technique d'entrée de texte. En résumé, les contributions de ce chapitre sont :

1. Nous introduisons l'idée d'utiliser un tissu tactile pour l'entrée de texte avec des lunettes électroniques sur la base de notre revue de la littérature et de notre modélisation conceptuelle.

2. Nous construisons un prototype fiable à faible coût qui peut être intégré aux vêtements.

3. Nous concevons une nouvelle technique d'entrée de texte utilisant notre prototype et une grammaire de gestes basée sur une étude utilisateur.

2 Motivation : Contexte de santé

2.1 Scénario

Dans le chapitre 3, tous les participants ont soutenu fortement le potentiel de notre prototype mCAREglass en tant qu'outil viable susceptible de soutenir le travail clinique dans le service de soins intensifs. Les participants ont suggéré l'utilisation de 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 court. Par exemple, le participant n ° 2 a déclaré : « *we don't necessarily text anything except for a quick message like this patient is here* ». Le participant n° 4 a déclaré : « *not full notes but just updates like did this at this time* ».

Nous avons choisi de décrire un scénario illustrant certaines tâches typiques d'un médecin au cours d'une journée avec des lunettes électroniques. À l'hôpital où travaille le Dr Bob, un système DPE est mis en place avec des lunettes électroniques. Une tâche courante du Dr Bob consiste à mettre à jour des données du

patient et à ajouter des notes. Cette tâche peut être accomplie debout dans la salle d'opération, en marchant dans le couloir de l'hôpital ou en s'asseyant devant le patient. Pour le Dr Bob, le défi consiste à accomplir cette tâche simplement et efficacement. La Dr Bob ne désire pas utiliser de dispositifs supplémentaires portés dans la main parce que ses mains sont occupées et l'utilisation d'une entrée audio avec la reconnaissance vocale ne permet pas dans certains cas de garder la confidentialité. Ce scénario montre que la conception d'une nouvelle technique d'entrée de texte pour de tels environnements spécialisés est importante pour l'adoption de lunettes électroniques par les professionnels de santé.

2.2 Justification de la conception

Pour répondre à notre scénario, nous avons défini les exigences suivantes pour notre conception :

1. *L'emplacement de l'interaction :* l'interaction avec le dispositif ne doit pas déranger le praticien dans son travail. Il ne doit pas porter dans sa main un dispositif supplémentaire ni porter un gant qui ne lui permette pas de se stériliser les mains. L'emplacement de l'interaction doit être confortable et acceptable. Il est déjà démontré que les interactions entre le poignet et l'avant-bras sont les plus confortables et socialement acceptables [282].

2. *L'interaction "eyes-free" :* les techniques d'interaction "eyes-free" sont des techniques qui ne nécessitent pas de regarder le dispositif d'entrée lors de l'interaction [283]. L'écran des lunettes électroniques est devant les yeux, l'utilisateur doit pouvoir saisir du texte tout en restant attentif à l'écran des lunettes et au monde réel. L'utilisateur ne doit pas regarder le dispositif de saisie.

3 Travaux connexes

Avec l'avènement de la technologie mobile et la technologie vestimentaire, de nombreuses études se sont intéressées à l'entrée de texte car cette tâche nécessite des solutions matérielles ou logicielles efficaces pour compenser l'absence du clavier classique. Avec les lunettes électroniques, le grand avantage est de pouvoir interagir tout en restant attentif au monde réel, puisque l'écran des lunettes électroniques est devant les yeux. Cet avantage devient un défi pour des tâches telles que l'entrée de texte. Habituellement, l'utilisateur regarde le clavier pour saisir du texte, tout en regardant l'écran pour vérifier l'exactitude du texte. Avec des lunettes électroniques, l'utilisateur peut également regarder le monde réel, tout en marchant et en interagissant avec l'environnement. Il devient donc très compliqué de lui demander de détourner son regard vers un dispositif spécifique d'entrée de texte.

Cette contrainte est mise en évidence et traitée par plusieurs méthodes proposées dans la littérature. Nous allons explorer en premier les travaux d'entrée de texte qui respectent cette contrainte et qui peuvent être utilisés dans le cadre des lunettes et nous explorons ensuite les autres méthodes d'entrée de texte utilisées sur lunettes électroniques.

3.1 L'entrée de texte "eyes-free"

Il existe différentes classifications pour les techniques d'entrée de texte. Nous divisons les techniques d'entrée de texte en deux groupes : ceux qui nécessitent une seule action et ceux qui nécessitent plusieurs actions pour sélectionner un caractère. Nous définissons une action comme un geste, une sélection en pointant, un ou plusieurs relâchements au toucher simultanément, etc.

La technique la plus connue à une seule action est le clavier standard, un caractère correspond à une touche physique virtuelle. De petites versions du clavier Qwerty pour le portable ont été construites, mais elles n'ont pas été acceptées en raison de leurs performances réduites en termes de saisie et de leur niveau de fatigue élevé [284]. Pour surmonter les contraintes d'espace, des claviers à accords ont été introduits pour réduire le nombre de touches. Un accord est une combinaison de touches appuyées simultanément. L'un des plus communs est le clavier Twiddler à une main [285]. D'autres études ont proposé plusieurs techniques d'accords basées sur des codages Braille : BrailleType [286], TypeInBraille [287], BrailleTouch [288] et Perkinput [289]. Ces techniques sont implémentées sur des smartphones. Bien qu'elles soient conçues principalement pour les déficients visuels, elles peuvent être utilisées pour l'entrée de texte sur les lunettes. L'inconvénient des claviers à accords est l'effort à fournir pour apprendre les accords.

Les techniques à un seule action comprennent également l'entrée de texte basée sur des gestes. Les gestes peuvent être effectués avec un dispositif à deux dimensions. Pour faciliter l'apprentissage, Graffiti [290] et EdgeWrite [291] utilisent des gestes liés à la forme des lettres latines. Grafiti [290] favorise l'apprentissage rapide et la rétention de l'aide par la similitude de la plupart des caractères avec l'alphabet romain, mais cela nécessite de la précision. EdgeWrite [291] nécessite moins de précision, mais nécessite des bords pour effectuer les gestes et les gestes sont moins liés aux formes des lettres. Nous trouvons également QuikWriting [292] et 8pen [293] dans lesquels les utilisateurs effectuent des gestes situés autour d'une zone centrale de la disposition en direction d'une ou de plusieurs zones autour du centre pour saisir un caractère. Comme les gestes sont complètement déterminés par la disposition des caractères, il est difficile de bien saisir le texte en situation de mobilité car ils nécessitent que les utilisateurs recherchent les emplacements du caractère. 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 [294] et Airstroke [295]. Cette technique est également limitée par certains facteurs humains, car elle provoque une fatigue dans les bras [296] et demande aux utilisateurs de faire des gestes publiquement devant le visage, ce qu'ils n'apprécient pas [297].

Nous distinguons par ailleurs les techniques d'entrée de texte qui nécessitent plusieurs actions pour sélectionner un caractère afin de surmonter les limitations d'espace et d'apprentissage. Les actions sont séquentielles et permettent de naviguer dans l'espace des caractères vers celui souhaité. Généralement, l'utilisateur sélectionne un groupe de caractères par la première action et sélectionne un caractère de ce groupe par une seconde action. MessageEase [298] conçu principalement pour les téléphones à clavier à 12 touches utilise un tap pour la première action suivi d'un tap ou d'un glissement pour la deuxième action. Avec FlickKey [299]

et ThumbText [300], la disposition du clavier est divisée en six grandes touches. L'utilisateur sélectionne un groupe de caractères avec un tap sur la position de la surface et un geste "flick" pour la seconde action pour sélectionner le caractère. Chacune de ces trois techniques nécessite de localiser où effectuer la première action pouvant impliquer des problèmes de précision. H4-writer [301], H4-TEG [302], MDITIM [303] permettent de sélectionner un caractère en fonction de la fréquence du caractère représenté par le codage de Huffman à l'aide de quatre touches, mais ce codage nécessite un apprentissage. .

3.2 L'entrée de texte sur les lunettes électroniques

L'entrée de texte en utilisant la commande vocale est difficile à classer dans nos deux catégories, mais elle peut paraître la technique la plus naturelle avec de bons résultats en terme de performance [304]. Cependant, elle pose des problèmes de fiabilité et de confidentialité en situation de mobilité.

Dans la catégorie à une seule action, PalmType [305] est une technique qui utilise quant à elle la paume de la main comme un clavier pour saisir du texte. Un clavier virtuel est affiché sur l'écran des lunettes et l'utilisateur effectue des touchers sur la paume qui sont détectés à l'aide de capteurs infrarouges situés sur l'avant-bras. Cette technique nécessite que l'utilisateur localise une région spécifique sur la paume pour saisir un caractère. Comme la plupart des lunettes électroniques disposent d'une surface tactile 2D, Yu et al. [306] proposent un système de gestes sur la surface où chaque caractère est représenté par un ensemble de traits à une dimension qui imitent la représentation du caractère avec l'écriture cursive. Ce dernier ne prend pas en charge les nombres et les caractères spéciaux. Leur prise en charge avec la contrainte d'imitation des caractères avec les traits n'est pas évidente car la représentation actuelle est déjà surchargée.

Dans la catégorie des techniques qui nécessitent plusieurs actions, Swipezone [307] qui adapte la technique de SwipeBoard [308] aux lunettes électroniques, chaque caractère est encodé avec deux actions, une première qui sélectionne la région sur le clavier et une deuxième qui sélectionne le caractère. Cette technique est très pratique et ne nécessite pas beaucoup d'apprentissage car elle utilise la disposition Qwerty. Holdboard [309] utilise la même technique d'interaction, mais contrairement à Swipezone, elle fusionne la sélection de la région et la sélection du du caractère en un seul geste. Elle utilise l'emplacement du pouce sur le bord d'une montre connectée pour sélectionner une région du clavier et l'emplacement du toucher d'un autre doigt sur sa surface tactile pour sélectionner le caractère. C'est pour cela que nous l'envisageons dans la catégorie de plusieurs actions. Cette technique pose également un problème de localisation.

3.3 Dispositifs d'entrée de texte

De nombreuses solutions peuvent être associées à une technique d'entrée de texte sur les lunettes électroniques :

1. **Dispositifs portés dans la main :** Dans cette catégorie, nous pouvons trouver une version réduite du clavier qwerty ou le clavier à accords Twiddler avec

différents boutons [285]. Une autre technologie est un appareil porté dans la main basé sur un gyroscope [310]. Cette technique utilise un contrôleur porté dans la main pour sélectionner un caractère sur un clavier en utilisant le mouvement de la main. L'utilisateur doit maintenir le contrôleur dans sa main et l'incliner vers différents angles pour sélectionner des cibles (caractères) sur l'écran. Mais détenir un appareil supplémentaire ne répond pas au contexte médical.

2. **Dispositifs vestimentaires de la main :** DigitTap [311] est un dispositif à porter au poignet avec un accéléromètre pour détecter le temps de toucher et une caméra pour détecter l'emplacement du toucher. La détection de l'emplacement du toucher ne peut pas être reconnue avec précision dans un environnement moins lumineux ou avec un mouvement constant de la main. Un autre travail appelé DigitSpace [312] comprend une chaine connectée entre le poignet et un anneau sur le doigt pour une détection magnétique. Le prototype est très encombrant dans certains contextes tels que le contexte médical. D'autres travaux utilisent l'interaction du pouce-aux-doigts mais en portant un gant [302, 313–315]. Le travail le plus récent et le plus avancé est DigiTouch [315], qui détecte une position de toucher à l'aide d'un tissu conducteur sur les gants. Bien que la technique soit prometteuse et puisse atteindre une vitesse de saisie de texte élevée, le port des gants pendant le travail clinique est contraignant et peut gêner le praticien. De plus, il doit les enlever pour plusieurs tâches car ils ne sont pas stérilisés.

   Nous pouvons trouver d'autre dispositifs vestimentaires qui peuvent être utilisés pour l'entrée de texte à yeux libres comme une bague [316], une surface tactile miniature[300] ou même un dispositif monté sur les ongles [317]. Par exemple, Nirjon et al. [316] demande à l'utilisateur de bouger le doigt qui porte la bague sur n'importe quelle surface dans différentes directions pour sélectionner un caractère. Le système a une performance variable qui dépend de la surface. De plus, les utilisateurs de[300, 317] peuvent avoir des difficultés parce que la surface d'interaction est limitée à une petite partie et peut nuire à la précision.

3. **Suivi des yeux ou de la tête :** avec des avancées significatives dans les performances de suivi des yeux, nous pouvons utiliser le mouvement des yeux pour l'entrée de texte [318] avec des lunettes électroniques. Dans les systèmes de suivi des yeux, il est généralement demandé aux personnes de se concentrer suffisamment longtemps sur un caractère pour le sélectionner. Dans un contexte médical, l'utilisateur ne peut pas garder une attention visuelle sur son environnement. De plus, l'interaction avec la tête à l'aide d'un gyroscope [247] nécessite un apprentissage et peut être une source de fatigue si le texte est long. Cela nécessite également une attention visuelle considérable lors de la saisie, ainsi que des mouvements constants de la tête, ce qui semble difficile dans les situations de mobilité requise, ce qui rend cette technologie également socialement gênante.

Pour respecter les exigences définies dans la section 2.2, nous sommes partis sur l'idée d'un tissu tactile intégré à un vêtement. Beaucoup de nouveaux matériaux

pour les tissus tactiles peu coûteux sont commercialisés et peuvent aider à fabriquer un dispositif mobile invisible [319]. Plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à l'interaction sur le tissu comme les travaux [320, 321] qui ont conçu une surface résistive sous forme d'une matrice de capteurs de pression sur le tissu. La technologie résistive ne permet pas de détecter plusieurs points d'une façon efficace. zPatch [322] combine la technologie résistive et capacitive pour fabriquer un patch afin de détecter le survol, le toucher et la pression sur son interface. Mais le patch ne permet pas d'interactions à plusieurs doigts.

Pour nos travaux, nous avons conçu un tissu tactile avec une grille capacitive à une dimension qui permet la reconnaissance de plusieurs points de contact simultanés, comme détaillé ci-dessous.

4 Description du prototype

4.1 Dispositif matériel

Notre prototype se présente sous forme d'un tissu tactile avec une taille de 11,9 cm x 10 cm. Il est constitué de 36 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» [323] 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. 12 fils sont connectés par carte. Les trois cartes sont branchées en série à un microcontrôleur de type Arduino FLORA (cf. Figure 5.1). 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.

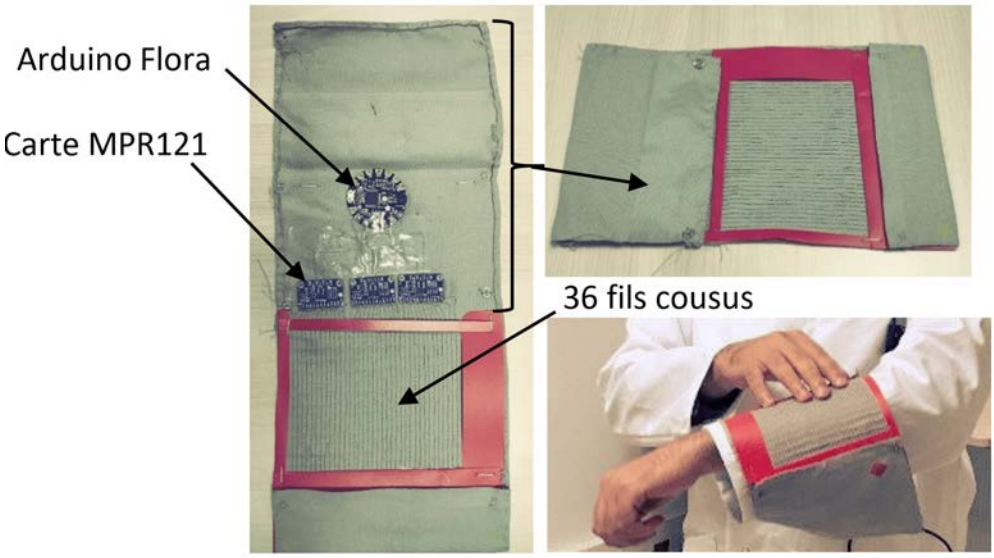


Figure 5.1 : Le prototype basé sur 36 fils conducteurs parallèles cousus et connectés à trois cartes MPR121 et à l'Arduino Flora.

Le dispositif est fixé sur la manche d'une blouse blanche de laboratoire avec des boutons à pression. Ainsi, l'utilisateur porte la blouse et peut interagir avec la surface située sur son avant-bras.

4.2 Logiciel de traitement

Les données transmises par les cartes MPR121 sont traitées à deux niveaux. Le premier niveau, s'appuie sur une plateforme Arduino Flora programmée en langage C /C++. Cette plateforme permet de détecter les événements tactiles sur les fils et de savoir sur quel fil l'événement est effectué. Après la détection, l'information est envoyée en utilisant le protocole de communication par bus série I2C au second niveau.

Le second niveau est programmé en JAVA en utilisant le SDK Android car les lunettes électroniques fonctionnent sous le système Android. Ce niveau interprète l'état des fils en terme de doigts posés ou levés. La combinaison de doigts est validée après un temps de ($t_{validation} = 80ms$) sans changement d'états sur les fils. Le programme peut identifier le nombre de doigts en contact avec la surface par une extraction du nombre de groupes de touchés sur la surface. Après, si l'utilisateur lève des doigts, l'algorithme identifie quels sont les doigts levés. Une fois les opérations interprétées par l'algorithme, des actions spécifiques sur les lunettes peuvent être déclenchées.

5 Étude préliminaire : exploration des gestes

Notre objectif est de trouver un langage d'interaction à base de gestes simples. Nous avons commencé par réaliser un sondage en ligne pour identifier les gestes confortables à partir des gestes possibles sur notre prototype. Le sondage en ligne est un outil efficace pour obtenir un retour rapide sur l'acceptabilité et le confort sur des interface gestuelles [324].

5.1 Participants

Un courriel a été envoyé sur une liste de diffusion universitaire demandant des volontaires pour l'étude. Les participants ont été encouragés à l'envoyer à d'autres personnes pour participer à l'étude. Nous l'avons également envoyé aux membres de nos familles et à nos proches. 74 participants ont participé au sondage en ligne (cf. Tableau 5.1).

5.2 Tâche et procédure

Le sondage en ligne examine un type d'interaction possible sur notre prototype : le RELEASE i.e. le lever simultané des doigts à partir d'une position de départ. Nous avons choisi comme position de départ celle où les quatre doigts (l'index, le majeur, l'annulaire et l'auriculaire) sont en contact avec la surface. Le pouce a été volontairement ignoré de par sa position trop décalée par rapport aux autres. Nous avons 15 combinaisons possibles de lever de doigts. Par exemple, à partir de

Tableau 5.1 : La distribution des participants par rapport à l'âge, le sexe, la latéralité et la situation.

Age	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	>65
	46	13	4	3	3	5

Sexe	Masculin	Féminin
	37	37

Latéralité	Gaucher	Droitier
	10	64

Situation	Collégien	Etudiant	En recherche d'emploi	En activité professionnelle	Retraité	Au foyer
	1	51	2	14	4	2

la position de départ, nous pouvons lever l'index et le majeur. Nous avons exploré ce type de gestes (RELEASE) car ils peuvent être (1) effectués sur notre surface 1D (2) peuvent être détectés de manière précise et (3) peuvent répondre à l'exigence de l'interaction à yeux libres.

Avant de commencer le sondage, les participants ont été informés que le but de l'étude était d'évaluer le confort des gestes. Le sondage affiche les 15 possibilités avec des démonstrations animées sous forme d'une main qui effectue le geste sur la surface et une brève description du geste pour que l'utilisateur puisse reproduire le geste. L'action filmée durait environ deux secondes et chaque vidéo est jouée en boucle. Les participants ont été invités à noter chaque combinaison qu'ils devaient reproduire selon le confort ressenti en utilisant l'échelle de Likert en 5 points de « Pas du tout confortable » à « Très confortable ». Toutes les combinaisons sont affichées dans le même ordre sur une seule page avec défilement. L'utilisateur peut revenir en arrière et corriger une note qu'il a donnée.

Chaque combinaison est codée de la manière suivante : le doigt en contact avec la surface est représenté par un 1, 0 s'il est levé. Nous présentons les quatre doigts par une suite de 4 chiffres où le poids fort est associé à l'index et le poids faible à l'auriculaire. Par exemple « RELEASE_0110 » correspond à « lever l'index et l'auriculaire à partir de la position de départ » (cf. Figure 5.2).

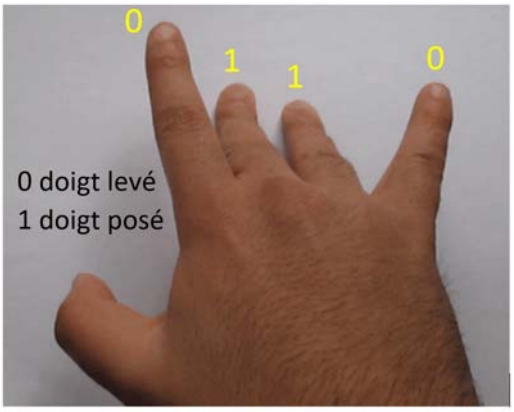


Figure 5.2 : Illustration de la combinaison RELEASE_0110 : Lever l'index et l'auriculaire à partir de la position de départ 1111.

5.3 Résultats

La figure 5.3 montre les moyennes des scores pour les 15 combinaisons.

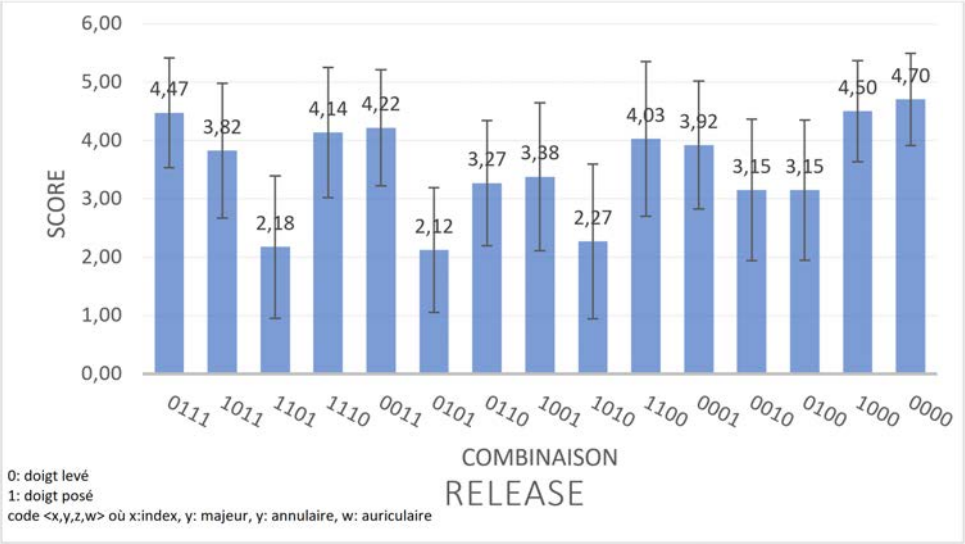


Figure 5.3 : Score de chaque combinaison pour l'opération RELEASE.

Nous allons retenir les gestes confortables à partir du score 3.5 pour éliminer les combinaisons avec des notes négatives ou neutre, ce qui donne 8 combinaisons :

- 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

Une remarque générale que nous pouvons tirer à partir de l'observation des résultats est que les combinaisons confortables demandent à l'utilisateur de lever des doigts adjacents quand il faut lever plusieurs doigts.

6 Étude expérimentale 1 : fiabilité du dispositif

Cette étude expérimentale a pour but d'évaluer la fiabilité du dispositif pour effectuer les différentes combinaisons retenues dans l'étude exploratoire.

6.1 Participants

Vingt participants bénévoles non rémunérés (âge moyen 21.6 ans, tous droitiers, 3 femmes) ont été recrutés parmi des étudiants de Master 2 informatique et doctorants de l'Université. Les participants n'ont jamais utilisé de lunettes électroniques ou de tissu tactile.

6.2 Tâche

L'objectif est d'évaluer la performance de la détection de la position de départ (4 doigts posés) et celle du nombre de doigts levés après la position de départ. Les participants doivent interagir avec le tissu tactile en réponse à un retour visuel affiché sur les lunettes électroniques. Le retour visuel (cf. Figure 5.4) demande à l'utilisateur de poser les quatre doigts. Une fois les doigts mis en contact avec la surface, il indique par des flèches les doigts à lever.

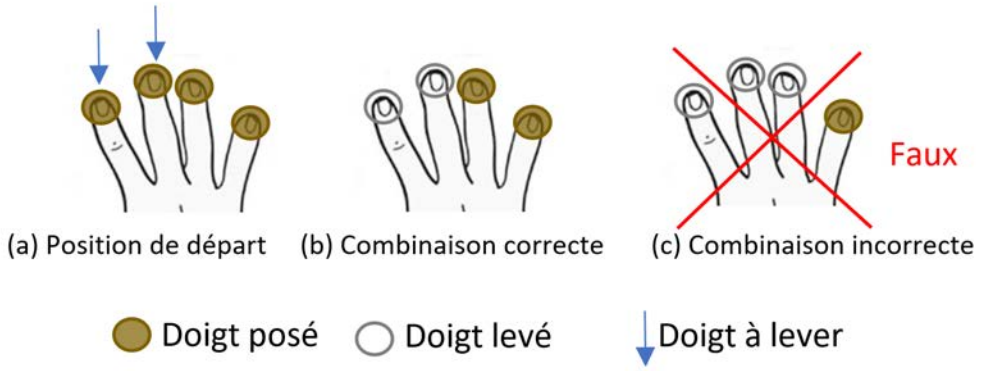


Figure 5.4 : Capture d'écran de la tâche.

6.3 Procédure

Notre étude suit un plan à une seule variable : l'opération (Position de départ, RELEASE). L'opération RELEASE a 8 combinaisons. Chaque opération RELEASE est liée à une position de départ. Chaque combinaison est testée 10 fois.

Si l'utilisateur effectue une opération de position de départ incorrecte, il doit la refaire. Chaque utilisateur effectue 160 (=8*10*2) opérations en plus des opérations de position de départ incorrectes. L'ordre des opérations est aléatoire avec une seule contrainte : une opération RELEASE vient toujours après une opération de position de départ.

Avant de commencer les tests, les participants sont invités à lire un document (cf. annexe C) qui précise le but de l'expérimentation, la tâche à accomplir et les dispositifs à utiliser. Les participants commencent le test par un retour visuel sur l'écran des lunettes qui demande à l'utilisateur la tâche à effectuer.

6.4 Matériel

L'expérimentation a été réalisée en utilisant des lunettes électroniques Epson BT300 binoculaires transparentes. Notre tissu tactile est connecté aux lunettes et attaché avec des boutons-pression sur la manche gauche d'une blouse blanche de laboratoire portée par le participant (cf. Figure 5.5). Le participant est debout, porte les lunettes et interagit sur la surface textile avec sa main droite. L'expérimentation s'est déroulée dans la même salle avec les mêmes conditions d'éclairage (volets de fenêtres fermés et lumières intérieures sous le plafond). La figure 5.5 montre la configuration de la salle.

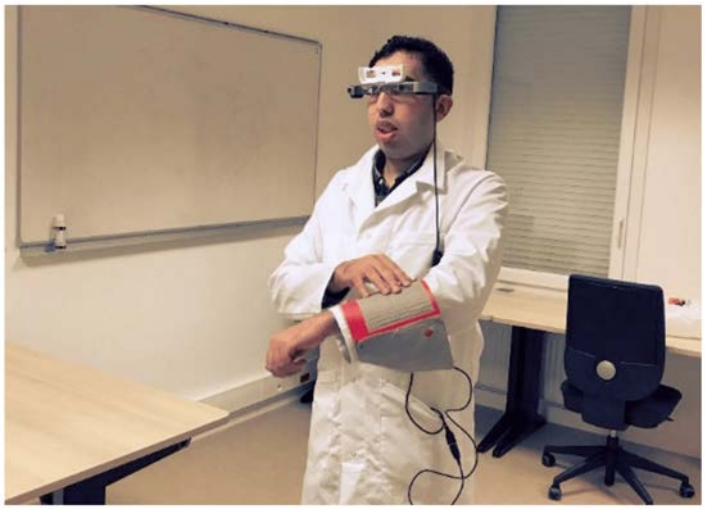


Figure 5.5 : Configuration de la salle de test.

6.5 Données collectées

Au cours de cette étude, nous avons enregistré pour chaque tâche d'interaction sur le tissu tactile : l'interaction attendue, et l'interaction réelle détectée, soit 1600 (20 participants x 80 opérations) opérations de position de départ (plus 13 opérations incorrectes) et 1600 opérations RELEASE.

6.6 Résultats

Globalement, notre prototype a identifié avec succès 99,20% positions de départ et 98.69% opérations RELEASE. Le tableau 5.2 résume les taux de reconnaissance. L'analyse détaillée des erreurs a révélé deux causes d'erreurs. Dans certaines situations, le doigt de l'utilisateur n'est pas suffisamment en contact avec la surface. De plus, l'utilisateur hésite parfois et ne lève pas les doigts demandés simultanément. Par exemple, s'il est demandé de lever le majeur, l'annulaire et l'auriculaire (RELEASE_1000), l'utilisateur lève le majeur et l'annulaire, puis après un temps $(t > 80ms)$ il lève l'auriculaire. Notre algorithme considère qu'il s'agit du geste(RELEASE_1001).

Le test de fiabilité a montré que notre prototype peut être utilisé pour les opérations de position de départ et pour les opérations RELEASE. Il peut donc être utilisé pour tester notre technique d'entrée de texte.

Tableau 5.2 : Taux de reconnaissance des opérations.

	Erreurs du dispositif	Erreurs du participant	Fiabilité du dispositif
Position de départ	13/1613 0.80 %	0/1613 0%	99.20%
Release	21/1600 1.31%	94/1600 5.87%	98.69%

7 TEXTile : notre technique d'entrée de texte

TEXTile est une technique d'entrée de texte qui encode chaque caractère en une série de deux actions (cf. Figure 5.6). Une action est une opération RELEASE parmi les huit étudiées précédemment à partir de la position de départ avec les quatre doigts posés

L'avantage de cette technique est qu'elle ne nécessite pas une attention visuelle sur la surface du tissu tactile. Comme l'utilisateur a l'écran des lunettes devant les yeux, une vue du clavier est affichée pour l'aider à effectuer les bonnes actions surtout en phase d'appretissage.

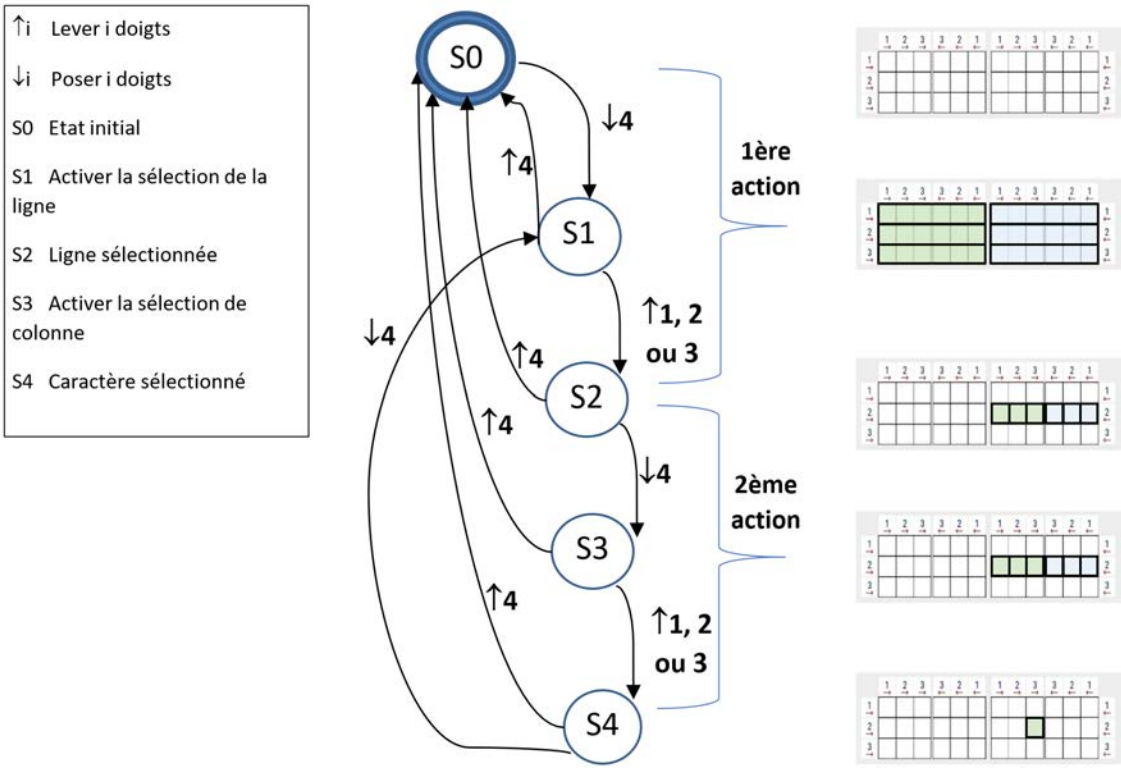
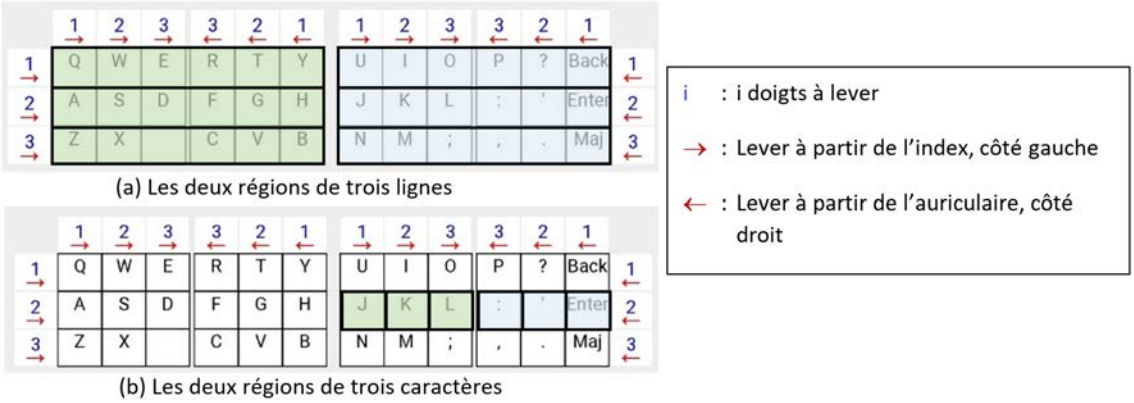


Figure 5.6 : Les deux actions à effectuer pour taper un caractère.

Le clavier est d'abord divisé en 2 régions de 3 lignes, ce qui donne une répartition des caractères sur 6 lignes. Ensuite, chaque ligne est elle-même divisée en 2 régions de 3 caractères (cf. Figure 5.7).

Afin de faciliter l'apprentissage, nous avons choisi une méthode intuitive pour arriver à la ligne souhaitée. Le numéro de la ligne à sélectionner correspond au nombre de doigts à lever. Si la ligne est située sur la région de gauche (verte sur la figure 5.7.a), il faudra lever les doigts en commençant par ceux à gauche (index, majeur, etc.). Si la ligne est située dans la région de droite (bleu sur la figure 5.7.a), il faudra lever les doigts en commençant par ceux de droite (auriculaire, annulaire, etc.). Sur la figure 5.7, les numéros indiquent le nombre de doigts à lever et les flèches sous les numéros indiquent par quel doigt commencer. Par exemple, pour sélectionner la deuxième ligne de la région de droite, l'utilisateur doit lever les deux doigts en commençant par ceux de droit : l'auriculaire et l'annulaire (RELEASE_1100) (cf. Figure 5.6, 1ère action).



(a) Les deux régions de trois lignes

(b) Les deux régions de trois caractères

Figure 5.7 : Clavier affiché sur les lunettes électroniques.

Pour choisir un caractère dans la ligne choisie, il faut que les quatre doigts soient à nouveau posés. Une fois la ligne sélectionnée, 6 caractères sont possibles. L'utilisateur doit choisir la région où se trouve le caractère. Le numéro de colonne où se trouve le caractère dans la région correspond au nombre de doigts à lever. Si le caractère est situé dans la région de gauche (verte sur la figure 5.7.b), il faudra lever les doigts en commençant par ceux à gauche (index, majeur, etc.). Si la colonne est située à droite (bleue sur la figure 5.7.b), il faudra lever les doigts en commençant par ceux de droite (auriculaire, annulaire, etc.). Sur la figure 5.7, les numéros indiquent le nombre de doigts à lever et les flèches sous les numéros indiquent par quel doigt commencer. Pour saisir un autre caractère il faut reposer les quatre doigts.

Par exemple, pour sélectionner le « L » (deuxième ligne coté droite) sur la figure 5.7, l'utilisateur doit lever les deux doigts côté droit : l'auriculaire et l'annulaire (RELEASE_1100) à partir de la position de départ. Ensuite, il doit poser les doigts levés pour revenir à la position de départ pour pouvoir sélectionner le caractère dans la ligne choisie. Après, il doit lever les trois doigts côté gauche : l'index, le majeur et l'annulaire (RELEASE_0001) (cf. Figure 5.6, 2ème action)..

Le tableau 5.3 résume comment sélectionner chaque région à partir d'une position de départ. La figure 5.8 montre comment écrire le mot «CLAP» avec le retour visuel sur l'écran des lunettes électroniques.

Tableau 5.3 : Les opérations à effectuer pour sélectionner une ligne et une colonne sur la vue.

Nombre de doigts	Combinaison	Action 1	Action 2
1 doigts	RELEASE_0111	Ligne 1 gauche	Colonne 1 gauche
1 doigts	RELEASE_1110	Ligne 1 droite	Colonne 1 droite
2 doigts	RELEASE_0011	Ligne 2 gauche	Colonne 2 gauche
2 doigts	RELEASE_1100	Ligne 2 droite	Colonne 2 droite
3 doigts	RELEASE_0001	Ligne 3 gauche	Colonne 3 gauche
3 doigts	RELEASE_1000	Ligne 3 droite	Colonne 3 droite

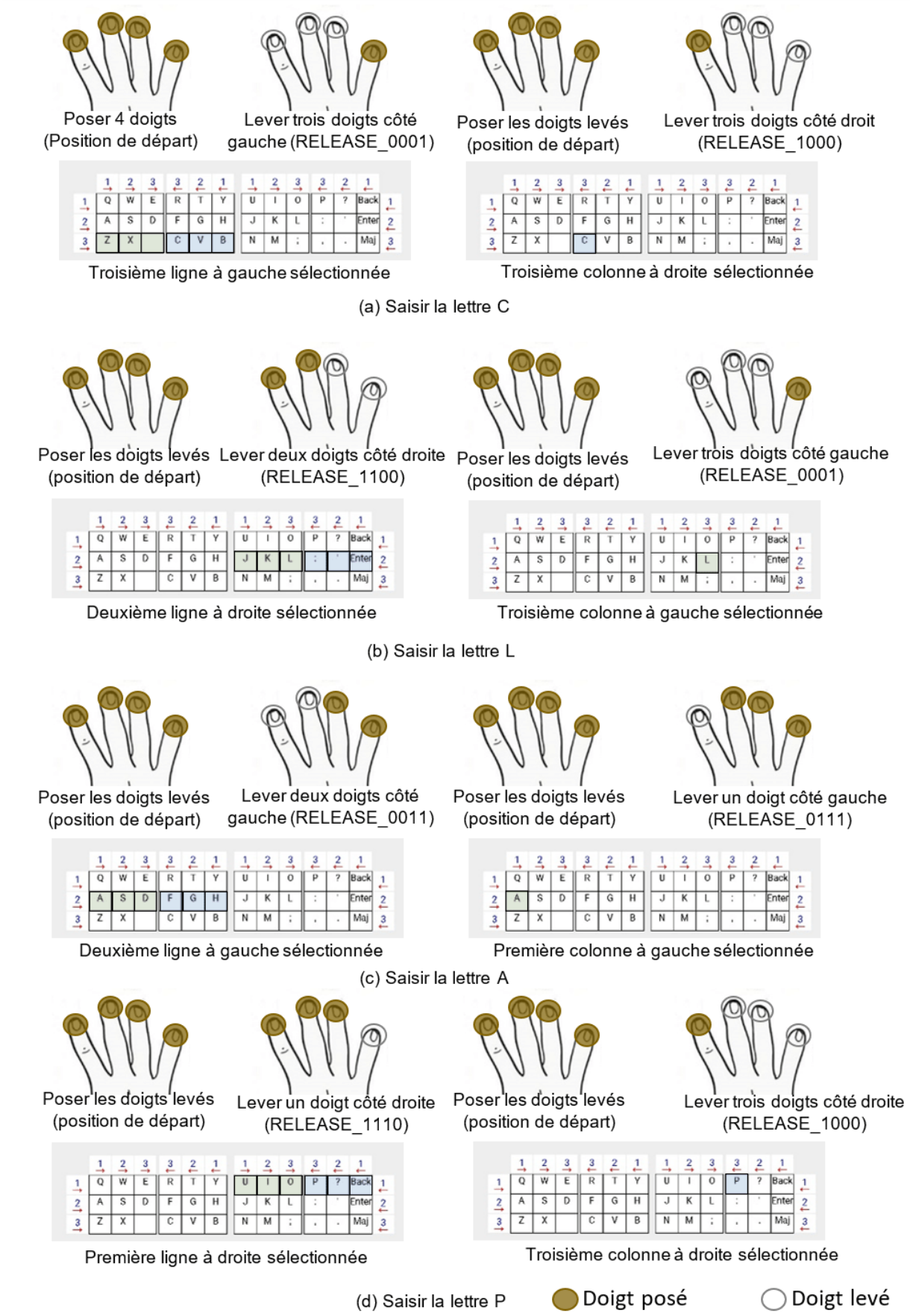


Figure 5.8 : Illustration des gestes effectués et du retour visuel sur l'écran des lunettes pour écrire le mot : CLAP.

Parmi les huit combinaisons retenues lors de l'étude préliminaire, il en reste deux : RELEASE_1011 (lever le majeur) et RELEASE_0000 (lever tous les doigts). La première est utilisée pour basculer vers la vue numérique et caractères spéciaux (cf. Figure 5.9) sachant qu'au départ c'est la vue QWERTY qui est accessible. La seconde combinaison est utilisée pour revenir à l'état S0 sur l'automate. Ainsi toutes les combinaisons retenues sont utilisées.

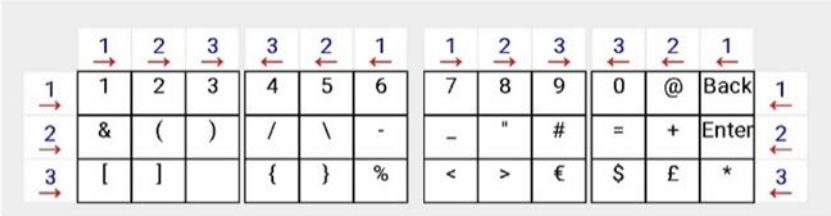


Figure 5.9 : La deuxième vue numérique et caractères spéciaux.

8 Étude expérimentale 2 : évaluation de la technique d'entrée de texte

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

8.1 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.

8.2 Tâche

Les participants doivent réaliser une tâche d'entrée de texte avec la technique TEXTile. 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. Pendant ce temps, l'utilisateur doit entrer de courtes phrases de texte choisies aléatoirement dans le corpus de MacKenzie et Soukoreff [325] aussi rapidement et avec le moins de fautes que possible.

8.3 Procédure

Notre étude suit un plan intra-sujet avec une seule variable indépendante, la session. Les sessions (1 à 10) ont été utilisées pour vérifier l'effet d'apprentissage et les performances des novices. Lors de la première session et avant le début des tests, les participants sont invités à lire un document (cf. annexe D) précisant l'objectif de l'expérimentation, les tâches à effectuer et les périphériques à utiliser. Le

document explique également la technique d'entrée de texte et explique comment poser et lever les doigts pour écrire des lettres à l'aide d'une aide visuelle sur des lunettes électroniques. Après cela, ils ont effectué un pre-test où ils ont dû entrer la phrase « hello world » pour se familiariser avec les lunettes électroniques, le tissu tactile et la technique d'entrée de texte. Lors de la première session, les participants utilisent la technique pour la première fois, aucune forme d'apprentissage n'a été réalisée avant car l'objectif de notre expérimentation est d'observer l'évolution de la performance au fil du temps.

Après le pré-test et après une courte pause, l'application de test peut démarrer. L'application commence par un écran de démarrage qui demande au participant de commencer lorsqu'il est prêt. Chaque participant saisit des phrases pendant 12 minutes. Le chronométrage commence lorsque le participant entre le premier caractère. 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".

La procédure de test pour les autres sessions était identique à celle de la première session, mis à part le pre-test. Au cours de l'expérimentation, nous avons pris des notes à partir des observations du comportement des participants.

À la fin de l'expérimentation (i.e. après la session 10), les participants font part de leurs commentaires sur l'expérimentation et le dispositif testé. Ils remplissent également le questionnaire NASA-TLX, un formulaire permettant d'évaluer la charge de travail perçue et le questionnaire SUS pour mesurer l'utilisabilité de la technique testée.

8.4 Matériel

Nous avons conduit cette expérimentation dans les mêmes conditions que l'expérimentation précédente avec le même matériel.

8.5 Données collectées

Au cours de cette étude, nous avons enregistré la phrase attendue, chaque opération sur la surface (Position de départ, RELEASE) avec le temps de l'événement. En plus des données collectées pendant l'interaction, nous avons recueilli toutes les réponses aux questionnaires (SUS, NASA-TLX), les commentaires informels des participants et les observations que nous avons notées durant l'expérimentation.

8.6 Résultats

8.6.1 Vitesse de saisie - courbe d'apprentissage

La figure 5.10 montre la moyenne de la vitesse d'entrée de texte par session WPM (Words Per Minutes). Un « mot » correspond à cinq caractères. Si une phrase de 43 caractère est saisie en 45 secondes, nous divisons le nombre de caractères par 5 et le nombre de secondes par 60 pour obtenir $(43/5)/(45/60) = 11,4WPM$ (mots/minute). L'analyse de la variance montre un effet significatif de la session.

($F(9,72) = 61.24, p < .001$). Nous dérivons le modèle de régression sous la forme de la loi de puissance. L'équation et les coefficients de corrélation au carré sont montrés sur la figure 5.10.

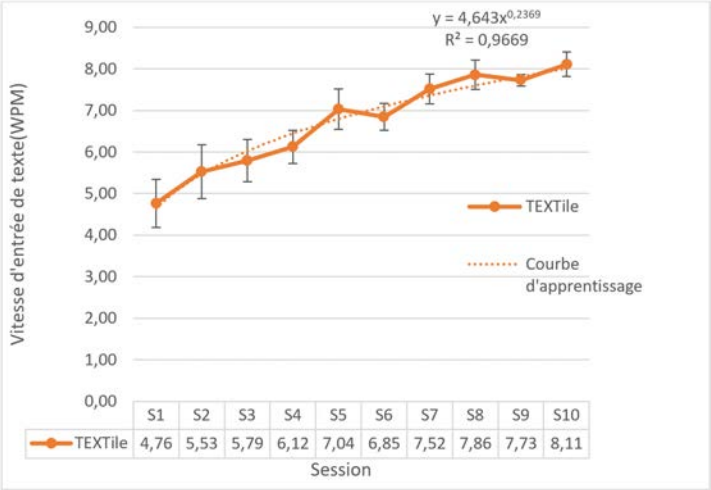


Figure 5.10 : Vitesse d'entrée de texte par session.

8.6.2 KSPC et erreurs

Nous avons analysé la précision avec trois métriques :

- KSPC (keystrokes per character) : nombre de caractères saisis par rapport au nombre de caractères du texte final. Il permet de mesurer l'activité de correction de l'utilisateur (i.e. son effort).
- Erreur corrigée : erreur qui entraîne la saisie d'un caractère incorrect avec correction.
- Erreur non corrigée : erreur qui entraîne la saisie d'un caractère incorrect sans correction.

Nous montrons à travers un exemple les différentes métriques

- Texte présenté : The beautiful day
- Texte saisi : th beautid←ful dauy
- Text final : th beautiful dauy

- KSPC : 19/17= 1.12 (12% de l'activité relève d'un effort de correction)
- Erreurs non corrigées : 2/19=10.52% (manque d'un « e » et un « u » de plus)
- Erreurs corrigées : 1 /19 =5.26% (d effacé)

La figure 5.11 montre le KSPC pour chaque session. L'analyse de variance montre que la différence entre les sessions est significative ($F(9,72) = 2.21, p < .05$).

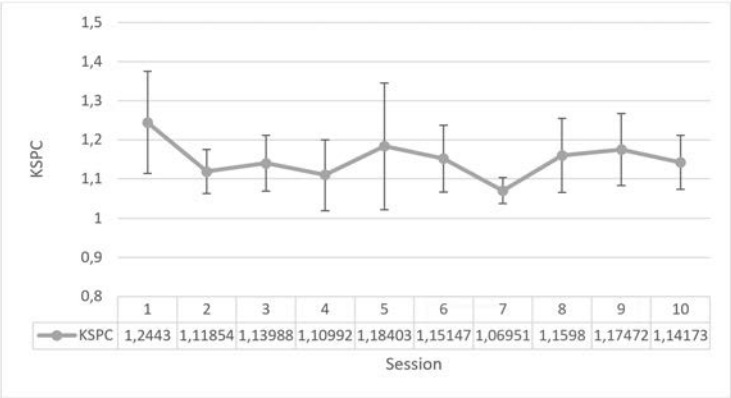


Figure 5.11 : KSPC par session.

Les figure 5.12 montre le taux moyen des erreurs corrigées par session et la figure 5.13 montre le taux moyen des erreurs non corrigées par session. L'analyse de variance montre que la différence entre les sessions est significative ($F(9,72) = 55.43, p < .001$) pour les erreurs corrigées et ($F(9,72) = 7.64, p < .001$) pour les erreurs non corrigées.

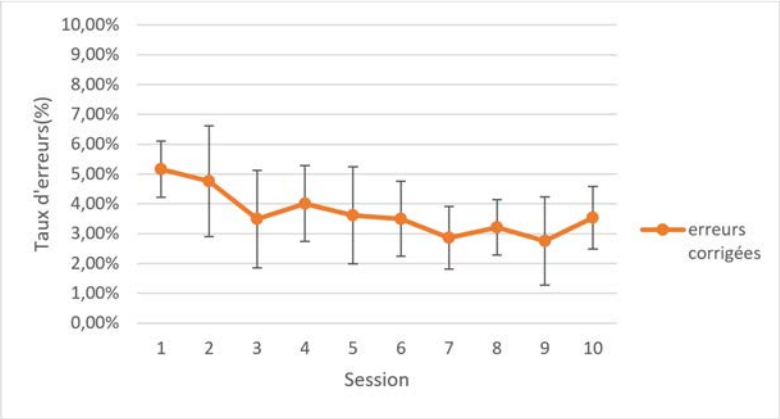


Figure 5.12 : Erreurs corrigées par session.

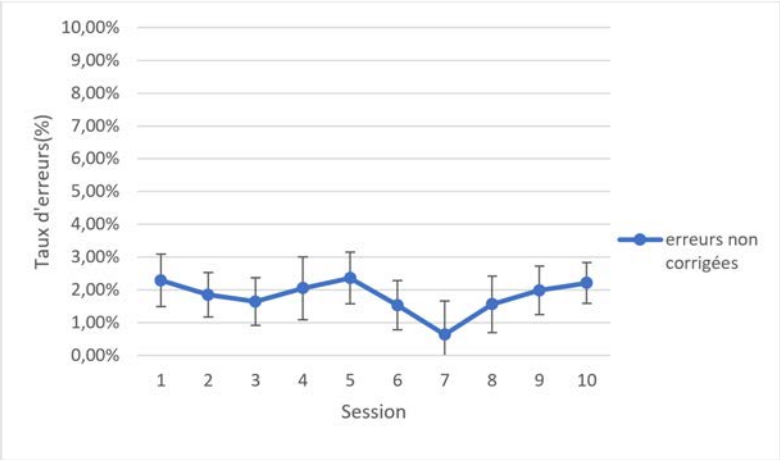


Figure 5.13 : Erreurs non corrigées par session.

Un autre type d'erreur signalé est l'erreur «soft» qui correspond à une erreur de sélection de ligne (i.e. une erreur lors de la première action et l'utilisateur annule sans entrainer une saisie d'un caractère, le passage S2→S0 et S3→S0 sur la figure 5.6) . Le taux de ce type d'erreur est de 5,65% (SD 0,74) lors de la première session à 4,17% (SD 0,51) lors de la dernière session (cf. Figure 5.14).

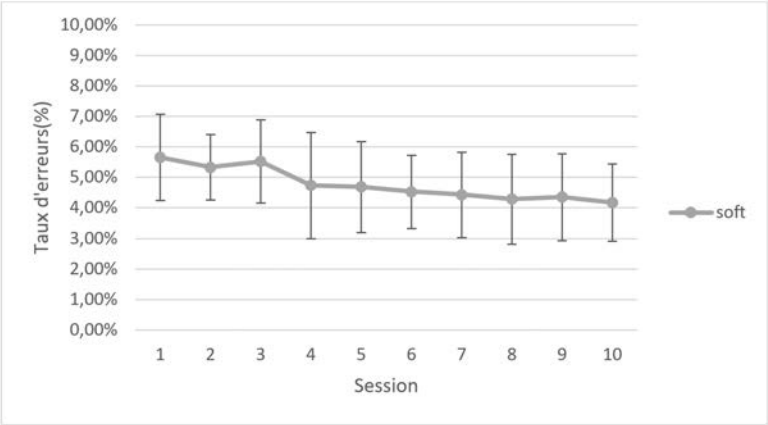


Figure 5.14 : Erreurs «soft».

8.6.3 Retour des utilisateurs

Les résultats des questionnaires SUS indiquent une moyenne de 76,5 (6,89 SD) pour la technique TEXTile. Les réponses aux questionnaires NASA-TLX collectés après la dernière session sont résumées à la figure 5.15.

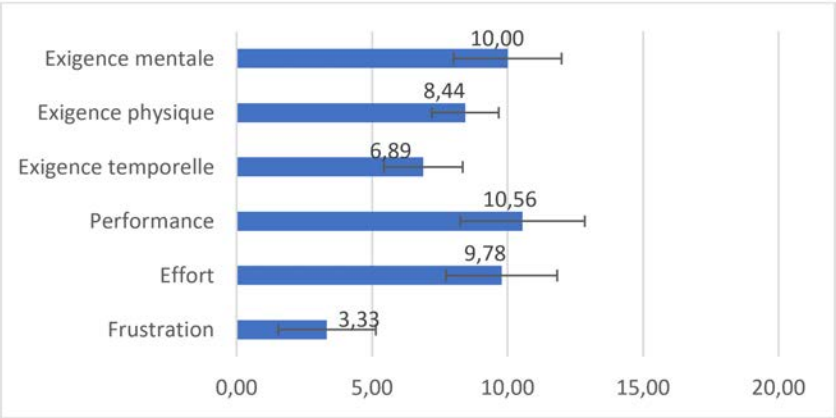


Figure 5.15 : Score moyen NASA-TLX de la technique TEXTile.

En discutant avec les participants, ils ont déclaré pour la technique TEXTile « *au début on cherche comment atteindre un caractère puis ça devient presque un automatisme* », « *ça demande un peu de concentration au début mais on prend vite la main* », « *au fur et à mesure on retient la position des lettres et on fait les mouvements de manière automatique sans regarder le clavier* » et « *ça demande un peu de temps pour se familiariser* ».

Au-delà du retour des participants, nous avons noté que les participants ont commencé le test avec le bras devant les yeux et finissaient par le bras tendu vers le bas. Cela semble indiquer une certaine détente des participants au fur et à mesure des sessions.

9 Discussion

Les résultats de notre étude montrent que, 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. Ils ont pu atteindre une vitesse d'entrée de 8,11 WPM (SD 0,29) lors de la dernière session, après 2 heures de pratique. 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.

Bien que notre expérimentation ait duré 10 sessions, elle n'était pas assez longue pour que les participants deviennent des experts. Il est difficile de juger l'efficacité de la technique TEXTile après 2 heures de pratique, mais les résultats de notre étude montrent que les utilisateurs ont pu saisir du texte avec TEXTile selon les exigences de notre scénario clinique. En outre, les praticiens ont indiqué qu'ils utiliseraient la technique de saisie de texte uniquement pour un texte court.

Le taux d'erreurs non corrigées est faible (<3%). L'augmentation de la vitesse à travers les sessions ne se fait pas au détriment de l'erreur. Le KSPC est constant à travers l'expérimentation. Le KSPC n'augmente pas avec la vitesse. Cela montre que l'augmentation de la vitesse ne se fait pas au prix d'une augmentation de l'effort. Par contre l'analyse du KSPC a révélé que la saisie du texte présenté nécessitait 14% de caractères saisies en plus à la dernière session. Ce taux montre que l'effort de correction reste important.

Nous avons également constaté un taux d'erreur « soft » de 5,65% (SD 0,74) lors de la première session à 4,10% (SD 0,51) lors de la dernière session. Une partie des erreurs a comme cause que les utilisateurs effectuent incorrectement les combinaisons. Par exemple, s'il est demandé de lever le majeur, l'annulaire et l'auriculaire (RELEASE_1000), l'utilisateur lève le majeur et l'annulaire et après un temps supérieur au temps de validation ($t > 80ms$) il lève l'auriculaire. Ce qui est considéré comme un (RELEASE_1001).

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 [228]. Les résultats du questionnaire NASA-TLX étaient 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.

10 Conclusion et perspectives

Nous avons conçu une nouvelle technique d'entrée de texte sur les lunettes électroniques « TEXTile ». Cette technique utilise comme périphérique un nouveau tissu tactile pouvant être intégré aux vêtements. Il permet de saisir du texte sans demander aux utilisateurs de détenir un dispositif externe. L'utilisateur tape et lève les doigts n'importe où sur la surface du tissu pour interagir. Les résultats

de notre étude auprès des utilisateurs ont montré que la technique TEXTile avait de bonnes performances en atteignant 8,11 WPM après 2 heures de pratique. La vitesse de saisie des participants a continué de croître tout au long de l'étude. La vitesse est suffisante dans le contexte médical car les professionnels de santé ont déclaré qu'ils ont besoin de saisir un texte court. La vitesse est raisonnable vu la durée de la pratique fournie et en ligne avec les travaux précédents sur les lunettes électrononiques.

Il convient de noter plusieurs limites à l'étude. Premièrement, les participants à l'étude n'étaient pas du domaine médical bien que la population cible de ce système soit les professionnels de santé. Les résultats de recherche présentés dans ce chapitre étaient uniquement destinés à être exploratoires. Les prochaines étapes comprendront des tests utilisant à la fois des professionnels de santé et une population plus large, afin d'évaluer la valeur de la technologie dans d'autres environnements. Ensuite, les participants n'ont pratiqué la technique que deux heures. Nous espérons tester TEXTile avec des utilisateurs sur plusieurs heures, afin de mieux évaluer la convivialité et l'apprentissage.

Pour nos travaux futurs, nous prévoyons d'apporter des améliorations à TEXTile afin de résoudre plusieurs problèmes. Le premier serait d'améliorer notre prototype en utilisant les dernières avancées technologiques en matière de tissus connectés. Une possibilité serait de disposer d'une surface textile 2D pour comparer notre technique à d'autres techniques telles que EdgeWrite [291], Graffiti [290] ou EscapeKeyboard [326]. Cette amélioration permettra d'utiliser le tissu tactile pour d'autres types d'interaction, comme le pointage et la navigation dans les interfaces des lunettes électroniques.

Nous prévoyons également de permettre aux utilisateurs de modifier leur texte (sélectionner, copier, coller, etc.). Actuellement, notre technique utilise deux actions pour saisir un caractère. Nous allons essayer d'augmenter la vitesse de saisie en utilisant la première action pour sélectionner la ligne et un modèle de prédiction pour sélectionner la colonne. Une autre perspective pour diminuer le taux d'erreur «soft» est d'établir un seuil adaptif pour chaque utilisateur en fonction de ses erreurs durant la saisie. Le seuil augmente si les erreurs « soft » augmentent et diminue si les erreurs «soft» diminuent. Enfin, l'auto-complétion et l'autocorrection seront étudiées. Nous avons encore plusieurs possibilités avec des combinaisons de doigts qui n'ont pas été explorées, par exemple des combinaisons avec trois doigts comme position de départ. Nous allons utiliser ces combinaisons pour des tâches plus simples que l'entrée de texte : sélection d'une valeur dans une liste, la manipulation d'une barre de défilement, etc.

Publication liée à ce chapitre

[327] Belkacem, I., Pecci, I., Martin, B., & Faiola, A. (2019, September). TEXTile : Eyes Free Text Input on Smart Glasses Using Touch Enabled Textile on the Forearm. In Proceedings of the The 17th International Conference on Human-Computer Interaction – INTERACT 2019 (18 pages).

Conclusion générale

***

Si l'utilisateur ne le trouve pas,
c'est qu'il n'existe pas.
Eric Schaffer

Sommaire

1 Conclusion 151
2 Perspectives 153

1 Conclusion

Le but de cette thèse était de proposer des techniques d'interaction appropriées au contexte médical en situation éventuelle de mobilité. Nous rappelons maintenant les contributions et résultats expérimentaux de nos travaux.

Nous avons tout d'abord répertorié les différents travaux effectués dans le cadre des lunettes électroniques pour le domaine de santé. Les travaux rapportés montrent le potentiel et l'utilité des lunettes électroniques pour deux publics cibles : les professionnels de santé et les patients.

Nous nous sommes focalisés sur l'utilisation des lunettes électroniques pour afficher et manipuler les dossiers patients. D'un point de vue conceptuel, notre objectif a été de comprendre quelles sont les lacunes des systèmes existants, ainsi que de spécifier la conception de nouveaux systèmes en terme d'IHM. Nous avons contribué à cet objectif en proposant un cadre de pensée sous la forme d'un espace de conception qui explore les différentes possibilités de conception organisées en huit dimensions pour la visualisation de dossiers patient électroniques. Les dimensions de notre espace de conception proviennent de la méthode 5W1H. Certaines dimensions sont organisées en sous-dimensions. Les différentes sous-dimensions et leurs valeurs sont issues de l'analyse des systèmes existants et des interviews avec des docteurs. Nous avons montré à travers un exemple, un scénario de conception futuriste, où chaque dimension de notre espace de conception est traitée.

D'un point de vue applicatif, nous nous sommes intéressés à la conception d'une application de visualisation des dossiers patients électroniques en nous appuyant sur l'espace de conception. Nous avons réfléchi à une technique de visualisation qui nous permet de parcourir un grand ensemble de données comme

celui présent dans le dossier patient. Nous nous sommes intéressés au concept de tuiles sur les lunettes électroniques pour afficher les données du dossier patient. Nous avons introduit une nouvelle technique appelée K-Fisheye pour améliorer le concept de tuiles et afficher les différentes liaisons sémantiques contenues dans le dossier patient. Ensuite, nous avons utilisé l'espace de conception pour porter le prototype MIVA développé sur les tablettes pour le service des soins intensifs sur des lunettes électroniques. Le prototype obtenu renommé mCAREglass, offre aux docteurs un accès mains libres en situation de mobilité aux dossiers patient électroniques et aux signes vitaux en temps réel pour améliorer le flux de travail, la qualité des soins et l'aide à la prise de décision. Une étude de terrain avec neuf docteurs du service des soins intensifs de l'hôpital d'Illinois à Chicago a montré que tous les participants ont trouvé que mCAREglass offrait un potentiel considérable d'optimisation du flux de travail clinique.

Tenir un dispositif supplémentaire comme le trackpad des lunettes électroniques pour naviguer dans le dossier patient est contraignant car les mains des professionnels de santé sont souvent occupées lors de la pratique médicale (tenue du matériel médical, palpation, chirurgie). Nous nous sommes intéressés aux techniques de pointage pour naviguer dans le dossier patient électronique. Nous avons évalué quatre techniques de pointage avec une tâche de sélection multidirectionnelle issue de la norme ISO 9241-411 : la Surface Tactile (ST), le Mouvement Absolu de la Tête (MAT), le Mouvement Relatif de la Tête (MRT) et la Main Libre Absolue (MLA). Nous avons conduit une expérimentation avec 18 participants. Nous avons constaté que les deux techniques ST et MAT sont les meilleures en termes de performance et d'utilisabilité, mais nous pouvons dire que la technique MAT est la meilleure parmi les techniques qui ne nécessitent pas de tenir un dispositif supplémentaire ce qui est demandé dans le contexte médical. Nous précisons que la vitesse du curseur pour la technique MRT est la même que la vitesse de rotation de la tête. Au lieu d'avoir un gain constant égal à 1 comme dans notre étude, une autre fonction de gain peut influencer sur les performances de pointage [279]. C'est pourquoi les résultas sont valables que pour cette fonction de gain. Une possibilité est d'optimiser le profil de la fonction de gain pour améliorer les performances.

Nous nous sommes intéressés ensuite à l'entrée de texte sur les lunettes électroniques car les professionnels de santé ont déclaré qu'ils ont besoin d'utiliser les lunettes comme un outil de communication pour envoyer des messages à des collègues, prendre des notes ou mettre à jour des informations sur le dossier du patient. Nous avons présenté un nouveau tissu tactile connecté aux lunettes électroniques en tant que dispositif pour l'entrée de texte. Ce dispositif, intégré aux vêtements, fournit une nouvelle technique d'entrée de texte appelée TEXTile. Elle permet aux utilisateurs de saisir du texte sans tenir un dispositif supplémentaire dans la main. Dans un contexte médical, le médecin ne doit pas avoir à tenir dans ses mains un dispositif car il doit pouvoir à tout moment ausculter le patient et pouvoir stériliser souvent ses mains. L'utilisateur touche le tissu avec les extrémités des doigts puis les relève n'importe où sur la surface du tissu, sans avoir besoin de regarder le tissu ou d'utiliser des marqueurs sur le tissu. La technique d'entrée de texte est basée sur 8 gestes identifiés parmi 15 dans une enquête auprès de 74 participants. Une première étude expérimentale auprès de 20 participants a montré que les gestes utilisés pour TEXTile étaient significativement fiables. Une deuxième

étude expérimentale réalisée auprès de 9 participants évalue la courbe d'apprentissage et les performances novices des participants. Les résultats montrent une moyenne de vitesse de saisie de 8.11 WPM au bout de dix sessions de douze minutes. Après 2 heures de pratique, la vitesse de saisie des participants a continué de croître tout au long de l'étude. La vitesse est suffisante dans le contexte médical car les professionnels de santé ont déclaré qu'ils ont besoin de saisir un texte très court. La vitesse est raisonnable vu la durée de la pratique fournie et en ligne avec les travaux précédents sur les lunettes électroniques.

2 Perspectives

Nous avons identifié plusieurs pistes de recherche sur la base de nos contributions :

1. **L'espace de conception :** notre espace de conception pourrait être complété pour prendre en compte d'autres types de sortie que la visualisation. Par exemple l'utilisation d'une sortie audio pour les alertes et les notifications. Cela peut rendre le praticien au courant à tout moment de l'état de santé de son patient. Nous avons élaboré cet espace de conception à l'aide de l'analyse des systèmes existants et d'interviews avec les docteurs. Il est important de mener des interviews avec d'autres utilisateurs cibles du dossier patient électronique (autre personnel médical, personnel administratif, patients, etc.). De plus, pour améliorer la facilité d'utilisation de cet espace de conception par les concepteurs de nouvelles applications, nous allons déterminer les relations entre les différentes valeurs des dimensions avec des combinaisons recommandées et des combinaisons impossibles. mCAREglass construit à partir de notre espace de conception n'était qu'un prototype dans un contexte très ciblé sur un contexte d'usage (les urgences). Il faut maintenant s'intéresser à la conception d'applications plus complètes (plus de contextes d'usage) pour montrer tout le potentiel de notre espace de conception.

2. **La vue K-Fisheye :** le modèle sémantique actuel prend en compte deux facteurs contextuels : la spécialité du praticien et le dossier patient. Concevoir un modèle sémantique qui prend en compte d'autres facteurs contextuels décrits dans notre espace de conception est une priorité qui peut avoir une valeur ajoutée dans l'aide à la prise de décision. En outre, une fonction d'agrégation plus sophistiquée qui remplace la moyenne est nécessaire pour calculer la similarité globale et affiner les éléments pertinents pour l'utilisateur. Sur le plan de la visualisation, la vue K-Fisheye doit pouvoir permettre les changements du contexte avec fluidité en utilisant différentes techniques de visualisation sans surcharger l'utilisateur. Nous prévoyons une évaluation de notre technique K-Fisheye à travers des tests utilisateurs. Il s'agira de comparer des interfaces à tuiles sur les lunettes électroniques pour effectuer une tâche de prise de décision sur un dossier patient : avec vue Fisheye classique, avec une vue K-Fisheye et une autre technique courante de non-distorsion utilisée dans les systèmes DPE comme le défilement.

3. **Les techniques de pointage :** nous envisageons d'améliorer les techniques de pointage et surtout la technique de main libre absolue car l'application de

cette technique dans le domaine de la santé devrait devenir un marché important en 2022 [278]. Tout au long de l'évaluation des différentes techniques, nous avons utilisé un bouton sur le contrôleur porté dans la main pour valider les cibles. Nous allons étudier un mécanisme de validation pour remplacer le bouton car l'objectif est d'interagir sans tenir un dispositif supplémentaire dans la main. Une autre perspective est l'utilisation et l'évaluation de différentes techniques pour d'autres types d'interaction que le pointage comme la manipulation d'une barre de défilement, la sélection d'une valeur dans une liste, etc. Nous regrettons de ne pas avoir eu l'occasion d'évaluer les différentes techniques avec les professionnels de santé. Les prochaines étapes comprendront des tests utilisant également des professionnels de santé.

4. **Le tissu tactile et la technique TEXTile :** nos travaux futurs consistent à améliorer la technique TEXTile en réduisant le nombre d'actions de deux à une seule action. Nous allons utiliser la première action pour sélectionner la ligne et un modèle de prédiction pour sélectionner la colonne. Nous avons plusieurs combinaisons de doigts qui ne sont pas explorées avec un, deux doigts et trois doigts comme position départ. Cela nous permet de les utiliser pour modifier le texte (sélectionner, copier, coller, etc.) et tester la technique pour des tâches plus simples que l'entrée de texte : sélection d'éléments sur l'interface, etc. Nous allons étudier également l'auto-complétion et l'autocorrection. Concernant le tissu tactile, notre prototype permet des interactions tactiles à une dimension. Nous prévoyons d'améliorer le prototype en développant une surface tactile à deux dimensions qui va nous permettre de comparer notre technique d'entrée de texte à d'autres techniques courantes. Disposer d'une surface tactile à deux dimensions permettra de l'utiliser pour d'autres types d'interaction comme le pointage et la navigation. Comme pour les techniques de pointage, l'évaluation de l'entrée de texte n'a pas été réalisée avec les professionnels de santé. Les prochaines étapes comprendront des tests utilisant à la fois des professionnels de santé et une population plus générale.

5. **Une nouvelle version de mCAREglass :** nous proposons de poursuivre le développement de mCAREglass pour créer une version améliorée basée sur les résultats de notre expérimentation et les suggestions des participants. Comme les techniques de pointage et la technique d'entrée de texte ne sont pas actuellement intégrées dans le prototype mCAREglass, nous envisageons d'ajouter ces techniques dans la prochaine version de mCAREglass. Nous prévoyons également d'intégrer plusieurs dossiers patients dans le prototype. Plusieurs études expérimentales mériteraient d'être menées pour évaluer en profondeur l'utilisabilité du prototype mCAREglass et son intégration dans le flux du travail des praticiens pour réduire la charge cognitive.

6. **L'utilisation des lunettes électroniques pour une application orientée patient :** nous avons proposé des techniques d'interaction en entrée et en sortie pour la visualisation des dossiers patients pour les professionnels de santé. Une autre perspective à long terme qui étend le sujet de notre étude est de donner accès au dossier patient électronique aux patients eux-mêmes. Il peut s'agir de personnes en situation de handicap ou des personnes qui nécessitent

qu'elles surveillent leur état de santé. Les techniques déjà utilisées ne sont pas forcément utilisables dans ce contexte comme le tissu connecté. Les nouvelles techniques d'interaction avec les lunettes électroniques doivent pouvoir montrer qu'elles peuvent aider ces personnes à devenir plus autonomes au quotidien afin de limiter la différence avec les personnes ne nécessitant pas d'aide.

Annexe A

Instructions du test de mCAREglass

***

Introduction: This study will be composed of two parts. A usability study of **mCARE***glass*, including a pre-test review to understand how **mCARE***glass* works; following by an interview about the potential use of **mCARE***glass* in the an ICU or other clinical settings.

PART ONE
Usability Study

Method #1 Used: Thinking-Aloud Protocol (TAP)

- TAP is a psychological protocol used to gather data in usability testing of products that provide insight into the participant's cognitive processes—making the thought processes as explicit as possible during task performance.
- TAP involves participants speaking what they are thinking, feeling, or doing, while performing a set of specified tasks. Participants are asked to say whatever comes into their mind as they execute the task.

Pre-Test Review of mCARE*glass*

>> First Impressions of mCARE*glass*

- **Researcher**: (Before the participant puts on the glasses)
  - Explains the various parts of the smart glasses technology and how they work:
  - Glasses and display
  - Trackpad – connected to glasses
  - Microphone
- **Researcher**: Explains the two sides of the interface.
  - **Interface Left side: Fisheye Design**: EMR data
    - Explain in detail how data is accessed.
    - Explain the associated data for expanding clinical insights
  - **Interface Right side: Visualization Design**: Real-time beside data
    - Explain in detail how the visualization time scale is used.
- **Participant**: Put on the glasses, with help from the researcher.
  - Observe the display for 10-20 seconds.
  - Remember to use TAP
  - What's your first impression of **mCARE***glass*? *The response may be very general*.

>> Free exploration of mCARE*glass* using the trackpad

- **Participant**: Use the trackpad controller connected to the glasses to navigate the interface.
  - Feel free to move and click at random spots on the interface
  - Ask questions. Remember to use TAP
- **Researcher**: Asks questions, e.g., *Describe the options you see? What do you think they are for? What is your impression of the left and right area of views?*

Usability Test

Continue to use TAP throughout the usability test.

TASK 1: Accessing and understanding the patient record with the trackpad

- **Participant**: Using the trackpad, navigate and click on the Fisheye part of the interface.
  1. Click on Patient #1
  2. Roll-Over Admissions
  3. Roll-Over General diagnoses
  4. Roll-Over Detailed diagnoses
  5. Roll-Over Medications data
  6. Roll-over medication element #2, Metoprolol Tartate
  7. Click on Expand view (see details of Meds)
  8. Click out the expend view to close
  9. Roll-Over Labs data
- **Participant**: Using the trackpad, investigate the patient's vital sign data using the visualization.
  - To observe what the patient's bedside data was between -2 to -4, use the trackpad to click on the linear points in time.
  - Select the left (or latest time point), then select the right (or earliest time point).
- **Participant**: Usability questions asked:
  1. How would you measure the learning curve for mCAREglass?
     Very Easy 1 2 3 4 5 Very Difficult
  2. How would you measure the design of the interface information/graphics?
     Very Clear 1 2 3 4 5 Very Confusing

TASK 2: Exploring mCAREglass using voice commands with a <u>clinical scenario</u>

- **Researcher**: Explain the Voice Command System
  - Review voice command sheet with the participant
  - Run a short test with the participant speaking into the mic
- **Participant**: Review the three patients.
  - **Patient #1:** A 56-year-old male is admitted to the MICU at 5pm for chest pain to rule out myocardial infarction. He has a history of high cholesterol, hypertension, and he smokes a pack of cigarettes a day. His heart rate and blood pressure are elevated.
  - **Patient #2**: A 28-year-old female is admitted to the MICU who was in a motor vehicle accident and sustained a head injury. She has no medical history. Her heart rate has dropped and her blood pressure is elevated.
  - **Patient #3**: A 44-year-old female is admitted to the MICU in acute respiratory distress with upper and lower GI bleeding. Her past medical history is significant for end-stage liver disease due to alcohol abuse. The patient is intubated in response to worsening respiratory distress, aggressively resuscitated, and given blood transfusion and vasopressor drugs.
- **Participant**: Review the general scenario—*using voice commands*
  - **Scenario** : During your morning rounds at the bedside, you do a diagnosis of three patient. The decision-making process includes a review of historical data and a discussion with the rounding team.
  - **Action**: Using the voice commands, do a random review of the data points necessary to complete a quick assessment, review from the Fisheye and Visualization interface sections
- **Participant**: Review the detailed scenario—*using voice commands*
  - **Scenario**: Do a detailed review of the data at the bedside or in another setting.
  - **Actions**: Using the voice commands, do the following: (Remember to TAP)
    1. Patient 3 and 2 — *Speak*—glasses—Patient 1…glasses—Patient 2
    2. Patient 3 — *Speak*—glasses—Patient 1
    3. Medications — *Speak*—glasses—medications
    4. Patient 2 — *Speak*—glasses—patient 2
    5. Medications — *Speak*—glasses—medications
    6. Expanded view for full list — *Speak*—glasses—expand
    7. Scroll view down and up to explore — *Speak*—glasses—down… Speak—glasses—up
    8. Close the expanded view — *Speak*—glasses—close
    9. Left 12 and Right 10: bedside data — *Speak*—glasses—left 12… Speak—glasses—right 10

PART TWO

General Interview Questions Related to mCARE*glass'* Potential Use

General Use

1. When and how do you think **mCARE***glass* could facilitate your clinical work in the ICU or other areas? That is, what might be its potential value or importance to ICU clinicians?
2. Do you think that the use of **mCARE***glass* might reduce errors and improve the quality of care delivery? If so, how?
3. When and how do you think **mCARE***glass* might support clinical decision-making (alerts or notifications) in the ICU or other settings?

Patient Safety

4. Do you think the use of **mCARE***glass* in the ICU might affect patient safety, and if so, how?
5. What do you think might be the possibility of reducing or increasing disruption to workflow or increasing cognitive load using **mCARE***glass*?

Data Use and Communication

6. What other information would you like to see displayed in **mCARE***glass*?
7. What other interacts, search, and navigation for data would be helpful using **mCARE***glass*?
8. Do you think you would like to enter text for note-taking or updating information? If so, how?
9. Do you think that a display of EMR data (Fisheye) in the form of data visualization was helpful?
10. Do you think that an adaptive interface that changes according to clinical context (associated data) would be helpful? If so, what are the contexts that require adaptation of the data, and how?
11. Would you like to use **mCARE***glass* for alerts, reminders or notifications?
12. What types of communication tools do you envision would be helpful in the ICU using smart glasses?

Annexe B

Instructions du test de pointage

***

Objectif du test :

Ce test a pour but d'évaluer les différentes techniques de pointage sur les lunettes en termes de performance et de confort.

Les 4 techniques de pointage à tester :

1- Surface tactile :

Vous allez interagir une surface tactile. La surface tactile des lunettes électroniques fonctionne comme une souris ou le touchpad sur un ordinateur portable. Elle est située sur le contrôleur connecté aux lunettes à travers un câble (Figure 1). L'utilisateur prend dans ses mains le contrôleur et dirige le curseur en déplaçant un doigt sur la surface tactile. Plus la vitesse du doigt est grande, plus le mouvement du curseur est grand.

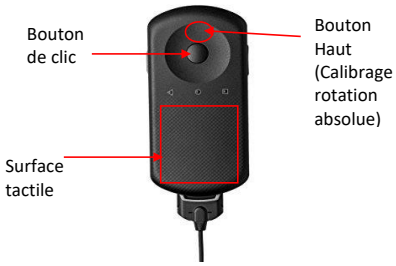


Figure 1 : Illustration du contrôleur

2- Mouvement absolu de la tête

Vous allez interagir avec votre tête. Le curseur est mis au centre de l'écran au départ, cette position correspond à la position de la tête de l'utilisateur au départ. Pour diriger le curseur, l'utilisateur doit faire un mouvement de sa tête. Le mouvement du curseur est dans le même sens du mouvement de la tête. La position du curseur est absolue, c'est-à-dire si l'utilisateur déplace sa tête de 45° vers l'Est à deux vitesses v1 ou v2 (v1 ≠v2), le curseur se déplace vers la même position.

Si l'utilisateur change d'orientation et veut initialiser la position de sa tête de départ, il peut appuyer sur le bouton « Haut » illustré sur la figure 1.

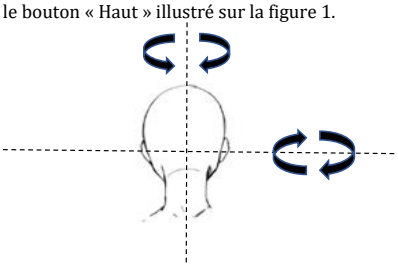


Figure 2 : Illustration de la rotation de la tête

3- Mouvement relatif de la tête

Vous allez interagir avec votre tête. Le curseur est mis au centre de l'écran au départ, cette position correspond à la position de la tête de l'utilisateur au départ. Pour diriger le curseur, l'utilisateur doit faire un mouvement de sa tête. Le mouvement du curseur est dans le même sens du mouvement de la tête.
Le curseur se déplace à l'écran en fonction de la vitesse de rotation de la tête. Plus la vitesse est grande, plus le mouvement du curseur est grand. Lors d'un mouvement de la tête, le curseur démarre de la dernière position sur l'écran et utilise la vitesse du mouvement de la tête. C'est-à-dire si l'utilisateur déplace sa tête de 45° vers l'Est avec deux vitesses différentes v1 ou v2 (v1 ≠v2), le curseur ne se déplace pas vers la même position.

4- Main libre absolue :

Vous allez diriger le curseur avec votre index. Il faut placer la main dans une zone proche des lunettes. C'est à vous dans la phase d'apprentissage de découvrir cette zone.

Instructions du test :

- Des disques sont répartis sur l'écran.
- Le curseur est placé au départ au centre de l'écran
- Un disque devient une cible lorsqu'il devient rouge.
- Votre tâche est de sélectionner chaque cible présentée. Pour se faire, vous devez utiliser une des quatre techniques de pointage pour atteindre la cible. Puis la valider en appuyant sur le bouton de clic situé sur le contrôleur (figure 1). Cette tâche devra être réalisé le plus rapidement possible tout en gardant une bonne précision.
- Si vous sélectionnerez bien la cible elle devient **verte**, sinon elle devient **orange**. Ensuite, la prochaine cible à sélectionner apparait.
- Tous les disques deviendront des cibles à tour de rôle.
- Vous allez tester les quatre techniques de pointage.

Après la fin du test, vous êtes invités à remplir le questionnaire.

Avant de commencer le test, vous allez apprendre à utiliser les 4 techniques de pointage à l'aide d'un pré-test similaire au test que vous allez effectuer .

Annexe C

Instructions du test de fiabilité

***

Objectif du test :

- Ce test a pour but d'évaluer la robustesse et la fiabilité de la surface textile. Le but est d'effectuer le test le plus rapidement possible tout en gardant une meilleure précision.

Instructions du test :

- Les quatre doigts sont affichés sur l'écran (index, majeur, annulaire et l'auriculaire) (Figure 1). L'utilisateur doit poser ses quatre doigts sur la surface textile comme position de départ. Le pouce doit rester en l'air ou posé sur la zone encadrée sur le dispositif.

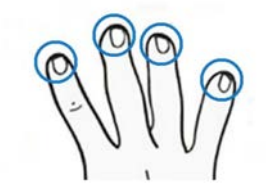


Figure 1 : Ecran affiché au lancement du test qui demande à l'utilisateur de poser les quatre doigts

- Si les doigts sont correctement posés, les cercles sont tous remplies et des flèches sont affichées pour indiquer la combinaison des doigts à soulever simultanément de la surface. Sur la figure 2, l'utilisateur est demandé de soulever simultanément l'index et le majeur.

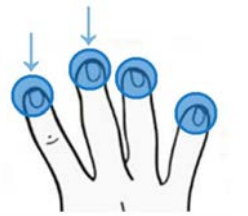
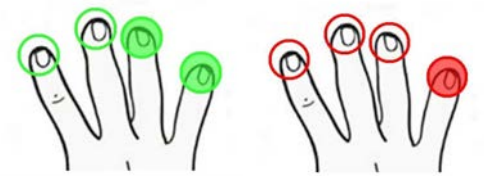


Figure 2 : Position de départ, les flèches représentes les doigts à soulever.

- Si l'utilisateur a bien soulevé les doigts demandés, les disques deviennent **verts** sinon ils deviennent rouges. La figure 3 représente le retour visuel sur la combinaison demandée par la figure 2 : a) combinaison correcte, b) combinaison incorrecte.



(a) Combinaison correcte (b) combinaison incorrecte

Figure 3 : Retour visuel quand l'utilisateur soulève les doigts : les disques remplies représentent les doigts posés sur la surface, et les disques non remplies représentent les doigts soulevés

- Une fois la combinaison est effectuée, l'utilisateur doit revenir à la position de départ et effectuer le reste des combinaisons. La progression du test est affichée sur l'écran.

Annexe D

Instructions du test d'entrée de texte

***

Objectif du test

- L'expérience a pour but d'évaluer les performances de la technique d'entrée de texte avec la surface textile sur les lunettes électroniques.

Instructions du test

- L'utilisateur doit entrer de courtes phrases aussi rapidement que possible avec le moins de fautes possibles.
- Les phrases à entrer sont affichées sur l'écran des lunettes.
- La saisie d'un caractère nécessite trois actions : la main doit être en position de saisie de texte (index, majeur, annulaire et auriculaire sont posés sur le tissu), sélectionner la ligne où il se trouve, puis sa colonne.
- Le clavier est d'abord divisé en 2 régions de 3 lignes, ce qui donne une répartition des caractères sur 6 lignes. Ensuite chaque ligne est elle-même divisée en 2 régions de 3 caractères (figure x).

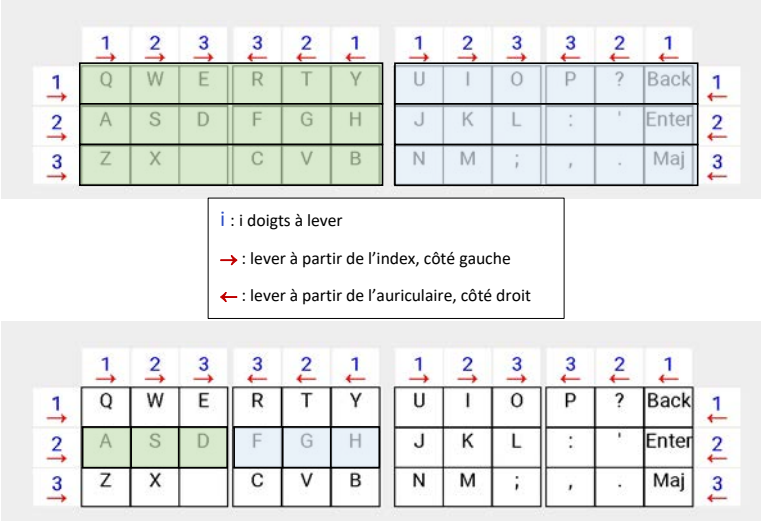
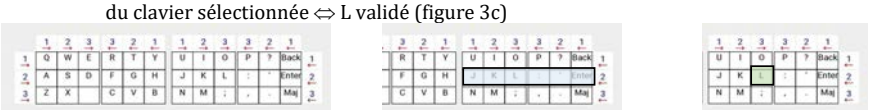


Figure 1 : Clavier affiché sur les lunettes électroniques : en haut les deux régions de 3 lignes (a) et en bas les 2 régions de 3 caractères (b)

- Le numéro de la ligne à sélectionner correspond au nombre de doigts à lever. Si la ligne est située sur la région de gauche (verte sur la figure 1 a), il faudra lever les doigts en commençant par ceux à gauche (index, majeur, etc.). Si la ligne est située à droite (bleue sur la figure 1 a), il faudra lever les doigts en commençant par ceux de droite (auriculaire, annulaire, etc.). Sur la figure 1, les numéros indiquent le nombre de doigts à lever et les flèches sous les numéros indiquent par quel doigt commencer.
- Une fois la ligne sélectionnée, 6 caractères sont possibles. L'utilisateur doit choisir la région où se trouve le caractère. Le numéro de colonne où se trouve le caractère dans la région correspond au nombre de doigts à lever. Si la colonne est située sur la région de gauche (verte sur la figure 1 b), il faudra lever les doigts en commençant par ceux à gauche (index, majeur, etc.). Si la colonne est située à droite (bleue sur la figure 1b), il faudra lever les doigts en commençant par ceux de droite (auriculaire, annulaire, etc.). Sur la figure 1, les numéros

indiquent le nombre de doigts à lever et les flèches sous les numéros indiquent par quel doigt commencer.

- Par exemple, pour sélectionner « L », il faut (figure 2) :
  - Poser les 4 doigts index, majeur, auriculaire, annulaire ⇔ position neutre, clavier activé (figure 2a)
  - Lever les 2 doigts côté droit : auriculaire et annulaire ⇔ 2ème ligne région droite du clavier sélectionnée (figure 2b)
  - Poser les doigts levés ⇔ position neutre, clavier activé
  - Lever les 3 doigts côté gauche : index, majeur, auriculaire ⇔ 3ème colonne région gauche du clavier sélectionnée ⇔ L validé (figure 3c)



(a) Clavier activé (b) Ligne sélectionnée (c) Colonne sélectionnée

Figure 2 – Saisie du caractère « L »

- La lettre est affichée sur l'écran des lunettes.
- Si ce 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. En d'autres termes, s'il y a une faute en début de phrase, il est préférable de la laisser car cela nécessiterait trop de corrections (effacer tous les caractères pour atteindre la lettre à corriger et les resaisir ensuite, car il n'est pas possible de déplacer le curseur sans effacement dans cette version).

Bibliographie

***

[1] T. W. Malone, Collective intelligence, a conversation with thomas w. malone, https://www.edge.org/conversation/thomas_w__malone-collective-intelligence, consulté le 02 Février 2019.

[2] S. Brewster, J. Lumsden, M. Bell, M. Hall, S. Tasker, Multimodal'eyes-free'interaction techniques for wearable devices, in : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM, 2003, pp. 473–480, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/642611.642694.

[3] A. Linden, J. Fenn, Understanding gartner's hype cycles, in : Strategic Analysis Report N° R-20-1971. Gartner, Inc, 2003.

[4] L.-H. Lee, P. Hui, Interaction methods for smart glasses : A survey, in : IEEE Access, Vol. 6, IEEE, 2018, pp. 28712–28732, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2831081.

[5] C. P. West, L. N. Dyrbye, T. D. Shanafelt, Physician burnout : contributors, consequences and solutions, in : Journal of internal medicine, Vol. 283, Wiley Online Library, 2018, pp. 516–529, DOI : http://dx.doi.org/10.1111/joim.12752.

[6] T. D. Shanafelt, L. N. Dyrbye, C. Sinsky, O. Hasan, D. Satele, J. Sloan, C. P. West, Relationship between clerical burden and characteristics of the electronic environment with physician burnout and professional satisfaction, in : Mayo Clinic Proceedings, Vol. 91, Elsevier, 2016, pp. 836–848, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.05.007.

[7] P. Carayon, T. B. Wetterneck, B. Alyousef, R. L. Brown, R. S. Cartmill, K. McGuire, P. L. Hoonakker, J. Slagle, K. S. Van Roy, J. M. Walker, et al., Impact of electronic health record technology on the work and workflow of physicians in the intensive care unit, in : International journal of medical informatics, Vol. 84, Elsevier, 2015, pp. 578–594, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2015.04.002.

[8] D. West, et al., How mobile devices are transforming healthcare, in : Issues in technology innovation, Vol. 18, 2012, pp. 1–11.

[9] S. Mitrasinovic, E. Camacho, N. Trivedi, J. Logan, C. Campbell, R. Zilinyi, B. Lieber, E. Bruce, B. Taylor, D. Martineau, et al., Clinical and surgical applications of smart glasses, in : Technology and Health Care, Vol. 23, IOS Press, 2015, pp. 381–401, DOI : http://dx.doi.org/10.3233/THC-150910.

[10] I. R. Bardhan, M. F. Thouin, Health information technology and its impact on the quality and cost of healthcare delivery, in : Decision Support Systems, Vol. 55, Elsevier, 2013, pp. 438–449, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2012.10.003.

[11] K. Doi, Diagnostic imaging over the last 50 years : research and development in medical imaging science and technology, in : Physics in Medicine & Biology, Vol. 51, IOP Publishing, 2006, p. R5, DOI : http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/51/13/R02.

[12] A. Hoerbst, E. Ammenwerth, Electronic health records, in : Methods of information in medicine, Vol. 49, Schattauer GmbH, 2010, pp. 320–336, DOI : http://dx.doi.org/10.3414/ME10-01-0038.

[13] U. Varshney, Pervasive healthcare and wireless health monitoring, in : Mobile Networks and Applications, Vol. 12, Springer-Verlag New York, Inc., 2007, pp. 113–127, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s11036-007-0017-1.

[14] A. R. Lanfranco, A. E. Castellanos, J. P. Desai, W. C. Meyers, Robotic surgery : a current perspective, in : Annals of surgery, Vol. 239, Lippincott, Williams, and Wilkins, 2004, p. 14, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d.

[15] R. Bose, Knowledge management-enabled health care management systems : capabilities, infrastructure, and decision-support, in : Expert systems with Applications, Vol. 24, Elsevier, 2003, pp. 59–71, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/S0957-4174(02)00083-0.

[16] P. A. Rauschnabel, A. Brem, B. S. Ivens, Who will buy smart glasses ? empirical results of two pre-market-entry studies on the role of personality in individual awareness and intended adoption of google glass wearables, in : Computers in Human Behavior, Vol. 49, Elsevier, 2015, pp. 635–647, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2015.03.003.

[17] D. W. Hein, P. A. Rauschnabel, Augmented reality smart glasses and knowledge management : A conceptual framework for enterprise social networks, in : Enterprise social networks, 2016, pp. 83–109, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-12652-0_5.

[18] I. E. Sutherland, A head-mounted three dimensional display, in : Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I, ACM, 1968, pp. 757–764, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1476589.1476686.

[19] S. Mann, An historical account of the'wearcomp'and'wearcam'inventions developed for applications in'personal imaging', in : Wearable Computers, 1997. Digest of Papers., First International Symposium on, IEEE, 1997, pp. 66–73, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ISWC.1997.629921.

[20] C. Hopping, The 5 rubbish wearables that actually make google glass look cool, https://www.techradar.com/news/portable-devices/the-5-rubbish-wearables-that-actually-make-google-glass-look-cool-1247061/, consulté le 02 Février 2019.

[21] The lizzy, the first mit general-purpose wearable, https://www.media.mit.edu/wearables/mithril/history/point3.1.html, consulté le 02 Février 2019.

[22] F. Tang, Eyetap reality mediators, wearable computers and wireless networks for interactive and shared mediated reality systems, 2002.

[23] Google glass, https://www.x.company/glass/, consulté le 02 Février 2019.

[24] Epson moverio bt 300, https://www.epson.fr/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300, consulté le 02 Février 2019.

[25] Sony smarteyeglass, https://developer.sony.com/develop/smarteyeglass-sed-e1/buy-now, consulté le 02 Février 2019.

[26] Vuzix blade, https://www.vuzix.com/products/blade-enterprise, consulté le 02 Février 2019.

[27] Vuzix m-100, https://www.vuzix.com/products/m100-smart-glasses, consulté le 02 Février 2019.

[28] Optivent ora 2, http://www.optinvent.com/our_products/ora-2/, consulté le 02 Février 2019.

[29] Microsoft hololens, https://www.microsoft.com/fr-fr/hololens, consulté le 02 Février 2019.

[30] Meta, https://www.metavision.com/, consulté le 02 Février 2019.

[31] Recon jet, http://amzn.to/2l1xrBD, consulté le 02 Février 2019.

[32] eglasses project, http://www.e-glasses.net/, consulté le 02 Février 2019.

[33] T. Toyama, T. Kieninger, F. Shafait, A. Dengel, Gaze guided object recognition using a head-mounted eye tracker, in : Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ACM, 2012, pp. 91–98, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2168556.2168570.

[34] M. Stengel, S. Grogorick, M. Eisemann, E. Eisemann, M. A. Magnor, An affordable solution for binocular eye tracking and calibration in head-mounted displays, in : Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia, ACM, 2015, pp. 15–24, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2733373.2806265.

[35] J. Shimizu, G. Chernyshov, Eye movement interactions in google cardboard using a low cost eog setup, in : Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing : Adjunct, ACM, 2016, pp. 1773–1776, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2968219.2968274.

[36] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D. G. Altman, Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses : the prisma statement, in : Annals of internal medicine, Vol. 151, Am Coll Physicians, 2009, pp. 264–269, DOI : http://dx.doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097.

[37] W. Vorraber, S. Voessner, G. Stark, D. Neubacher, S. DeMello, A. Bair, Medical applications of near-eye display devices : an exploratory study, in : International Journal of Surgery, Vol. 12, Elsevier, 2014, pp. 1266–1272, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsu.2014.09.014.

[38] R. Schaer, F. Salamin, O. Alfonso, J. del Toro, M. Atzori, H. Müller, A. Widmer, Live ecg readings using google glass in emergency situations, in : Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE, IEEE, 2015, pp. 315–318, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2015.7318363.

[39] C. A. Liebert, M. A. Zayed, O. Aalami, J. Tran, J. N. Lau, Novel use of google glass for procedural wireless vital sign monitoring, in : Surgical innovation, Vol. 23, SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2016, pp. 366–373, DOI : http://dx.doi.org/10.1177/1553350616630142.

[40] M. H. Iqbal, A. Aydin, A. Lowdon, H. I. Ahmed, G. H. Muir, M. S. Khan, P. Dasgupta, K. Ahmed, The effectiveness of google glass as a vital signs monitor in surgery : a simulation study, in : International Journal of Surgery, Vol. 36, Elsevier, 2016, pp. 293–297, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsu.2016.11.013.

[41] T. F. Drake-Brockman, A. Datta, B. S. von Ungern-Sternberg, Patient monitoring with google glass : a pilot study of a novel monitoring technology, in : Pediatric Anesthesia, Vol. 26, Wiley Online Library, 2016, pp. 539–546, DOI : http://dx.doi.org/10.1111/pan.12879.

[42] P. Schlosser, T. Grundgeiger, O. Happel, Multiple patient monitoring in the operating room using a head-mounted display, in : Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2018, p. LBW037, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3170427.3188460.

[43] J. Stewart, M. Billinghurst, A wearable navigation display can improve attentiveness to the surgical field, in : International journal of computer assisted radiology and surgery, Vol. 11, Springer, 2016, pp. 1193–1200, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s11548-016-1372-9.

[44] T. S. Wu, C. J. Dameff, J. L. Tully, Ultrasound-guided central venous access using google glass, in : The Journal of emergency medicine, Vol. 47, Elsevier, 2014, pp. 668–675, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.jemermed.2014.07.045.

[45] M. Golab, P. Breedon, M. Vloeberghs, A wearable headset for monitoring electromyography responses within spinal surgery, in : European Spine Journal, Vol. 25, Springer, 2016, pp. 3214–3219, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s00586-016-4626-x.

[46] J. W. Yoon, R. E. Chen, P. K. Han, P. Si, W. D. Freeman, S. M. Pirris, Technical feasibility and safety of an intraoperative head-up display device during spine instrumentation, in : The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, Vol. 13, Wiley Online Library, 2017, p. e1770, DOI : http://dx.doi.org/10.1002/rcs.1770.

[47] P. C. Chimenti, D. J. Mitten, Google glass as an alternative to standard fluoroscopic visualization for percutaneous fixation of hand fractures : a pilot study, in : Plastic and reconstructive surgery, Vol. 136, LWW, 2015, pp. 328–330, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/PRS.0000000000001453.

[48] T. Hiranaka, T. Fujishiro, Y. Hida, Y. Shibata, M. Tsubosaka, Y. Nakanishi, K. Okimura, H. Uemoto, Augmented reality : The use of the picolinker smart glasses improves wire insertion under fluoroscopy, in : World journal of orthopedics, Vol. 8, Baishideng Publishing Group Inc, 2017, p. 891, DOI : http://dx.doi.org/10.5312/wjo.v8.i12.891.

[49] P. Pappachan, R. Yus, A. Joshi, T. Finin, Rafiki : A semantic and collaborative approach to community health-care in underserved areas, in : Collaborative Computing : Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom), 2014 International Conference on, IEEE, 2014, pp. 322–331, DOI : http://dx.doi.org/10.4108/icst.collaboratecom.2014.257299.

[50] I. Kuhlemann, M. Kleemann, P. Jauer, A. Schweikard, F. Ernst, Towards x-ray free endovascular interventions–using hololens for on-line holographic visualisation, in : Healthcare technology letters, Vol. 4, IET, 2017, p. 184, DOI : http://dx.doi.org/10.1049/htl.2017.0061.

[51] A. Widmer, R. Schaer, D. Markonis, H. Müller, Facilitating medical information search using google glass connected to a content-based medical image retrieval system, in : engineering in medicine and biology society (embc), 2014 36th annual international conference of the IEEE, IEEE, 2014, pp. 4507–4510, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2014.6944625.

[52] U.-V. Albrecht, U. Von Jan, J. Kuebler, C. Zoeller, M. Lacher, O. J. Muensterer, M. Ettinger, M. Klintschar, L. Hagemeier, Google glass for documentation of medical findings : evaluation in forensic medicine, in : Journal of medical Internet research, Vol. 16, JMIR Publications Inc., 2014, DOI : http://dx.doi.org/10.2196/jmir.3225.

[53] G. Aldaz, L. A. Shluzas, D. Pickham, O. Eris, J. Sadler, S. Joshi, L. Leifer, Hands-free image capture, data tagging and transfer using google glass : a pilot study for improved wound care management, in : PloS one, Vol. 10, Public Library of Science, 2015, p. e0121179, DOI : http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0121179.

[54] J. Kantor, Application of google glass to mohs micrographic surgery : a pilot study in 120 patients, in : Dermatologic Surgery, Vol. 41, LWW, 2015, pp. 288–289, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/DSS.0000000000000268.

[55] J. C. Sinkin, O. F. Rahman, M. Y. Nahabedian, Google glass in the operating room : the plastic surgeon's perspective, in : Plastic and reconstructive surgery, Vol. 138, Wolters Kluwer, 2016, pp. 298–302, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/PRS.0000000000002307.

[56] T. Mentler, J. Kappel, L. Wünsch, M. Herczeg, Photo-enriched documentation during surgeries with google glass : An exploratory usability study in a department of paediatric surgery, in : i-com, Vol. 15, De Gruyter Oldenbourg, 2016, pp. 171–178, DOI : http://dx.doi.org/10.1515/icom-2016-0017.

[57] S. Feng, R. Caire, B. Cortazar, M. Turan, A. Wong, A. Ozcan, Immunochromatographic diagnostic test analysis using google glass, in : ACS nano, Vol. 8, ACS Publications, 2014, pp. 3069–3079, DOI : http://dx.doi.org/10.1021/nn500614k.

[58] O. M. Jeroudi, G. Christakopoulos, G. Christopoulos, A. Kotsia, M. A. Kypreos, B. V. Rangan, S. Banerjee, E. S. Brilakis, Accuracy of remote electrocardiogram interpretation with the use of google glass technology, in : The American journal of cardiology, Vol. 115, Elsevier, 2015, pp. 374–377, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.amjcard.2014.11.008.

[59] J. Stetler, E. Resendes, J. R. Martinez-Parachini, K. Patel, S. Amsavelu, M. N. J. Tarar, G. E. Christakopoulos, B. V. Rangan, M. Roesle, S. Abdullah, et al., Hands-free zoom and pan technology improves the accuracy of remote electrocardiogram interpretation using google glass, in : International journal of cardiology, Vol. 204, Elsevier, 2016, pp. 147–148, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.11.144.

[60] E. Spaedy, G. E. Christakopoulos, M. N. J. Tarar, G. Christopoulos, B. V. Rangan, M. Roesle, C. D. Ochoa, W. Yarbrough, S. Banerjee, E. S. Brilakis, Accuracy of remote chest x-ray interpretation using google glass technology, in : International journal of cardiology, Vol. 219, Elsevier, 2016, pp. 38–40, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.05.070.

[61] R. J. Spencer, P. H. Chang, A. R. Guimaraes, P. G. Firth, The use of g oogle g lass for airway assessment and management, in : Pediatric Anesthesia, Vol. 24, Wiley Online Library, 2014, pp. 1009–1011, DOI : http://dx.doi.org/10.1111/pan.12496.

[62] S. M. Kassutto, J. B. Kayser, M. P. Kerlin, M. Upton, G. Lipschik, A. J. Epstein, C. J. Dine, W. Schweickert, Google glass video capture of cardiopulmonary resuscitation events : A pilot simulation study, in : Journal of graduate medical education, Vol. 9, The Accreditation Council for Graduate Medical Education, 2017, pp. 748–754, DOI : http://dx.doi.org/10.4300/JGME-D-17-00155.1.

[63] T. Duong, J. Wosik, G. E. Christakopoulos, J. R. M. Parachini, A. Karatasakis, M. N. J. Tarar, E. M. Resendes, B. V. Rangan, M. K. Roesle, J. M. Grodin, S. M. R. Abdullah, S. Banerjee, E. S. Brilakis, Interpretation of coronary angiograms recorded using google glass : A comparative analysis., in : The Journal of invasive cardiology, Vol. 27 10, 2015, pp. 443–6.

[64] H. Borgmann, M. R. Socarrás, J. Salem, I. Tsaur, J. G. Rivas, E. Barret, L. Tortolero, Feasibility and safety of augmented reality-assisted urological surgery using smartglass, in : World journal of urology, Vol. 35, Springer, 2017, pp. 967–972, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s00345-016-1956-6.

[65] S. Gupta, J. Boehme, K. Manser, J. Dewar, A. Miller, G. Siddiqui, S. D. Schwaitzberg, Does wearable medical technology with video recording capability add value to on-call surgical evaluations ?, in : Surgical innovation, Vol. 23, SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2016, pp. 498–504, DOI : http://dx.doi.org/10.1177/1553350616656278.

[66] S. Vallurupalli, H. Paydak, S. Agarwal, M. Agrawal, C. Assad-Kottner, Wearable technology to improve education and patient outcomes in a cardiology fellowship program-a feasibility study, in : Health and Technology, Vol. 3, Springer, 2013, pp. 267–270, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s12553-013-0065-4.

[67] D. Hamann, W. S. Mortensen, C. R. Hamann, A. Smith, B. Martino, C. Dameff, J. Tully, J. Kim, A. Torres, Experiences in adoption of teledermatology in mohs micrographic surgery : using smartglasses for intraoperative consultation and defect triage, in : Surgical innovation, Vol. 21, SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2014, pp. 653–654, DOI : http://dx.doi.org/10.1177/1553350614552735.

[68] P. M. Russell, M. Mallin, S. T. Youngquist, J. Cotton, N. Aboul-Hosn, M. Dawson, First "glass" education : Telementored cardiac ultrasonography using google glass-a pilot study, in : Academic Emergency Medicine, Vol. 21, Wiley Online Library, 2014, pp. 1297–1299, DOI : http://dx.doi.org/10.1111/acem.12504.

[69] Z. E. Brewer, H. C. Fann, W. D. Ogden, T. A. Burdon, A. Y. Sheikh, Inheriting the learner's view : a google glass-based wearable computing platform for improving surgical trainee performance, in : Journal of surgical education, Vol. 73, Elsevier, 2016, pp. 682–688, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.jsurg.2016.02.005.

[70] P. R. Chai, K. M. Babu, E. W. Boyer, The feasibility and acceptability of google glass for teletoxicology consults, in : Journal of Medical Toxicology, Vol. 11, Springer, 2015, pp. 283–287, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s13181-015-0495-7.

[71] P. R. Chai, R. Y. Wu, M. L. Ranney, J. Bird, S. Chai, B. Zink, P. S. Porter, Feasibility and acceptability of google glass for emergency department dermatology consultations, in : JAMA dermatology, Vol. 151, American Medical Association, 2015, pp. 794–796, DOI : http://dx.doi.org/10.1001/jamadermatol.2015.0248.

[72] D. A. Hashimoto, R. Phitayakorn, C. Fernandez-del Castillo, O. Meireles, A blinded assessment of video quality in wearable technology for telementoring in open surgery : the google glass experience, in : Surgical endoscopy, Vol. 30, Springer, 2016, pp. 372–378, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s00464-015-4178-x.

[73] B. A. Ponce, M. E. Menendez, L. O. Oladeji, C. T. Fryberger, P. K. Dantuluri, Emerging technology in surgical education : combining real-time augmented reality and wearable computing devices, in : Orthopedics, Vol. 37, SLACK Incorporated, 2014, pp. 751–757, DOI : http://dx.doi.org/10.3928/01477447-20141023-05.

[74] Z.-W. Yuan, Z.-R. Liu, D. Wei, M. Shi, B.-J. Wang, Y.-H. Liu, W.-Z. Wang, G. Zhao, Mobile stroke : an experience of intravenous thrombolysis guided by teleconsultation based on google glass, in : CNS neuroscience & therapeutics, Vol. 21, Wiley Online Library, 2015, pp. 607–609, DOI : http://dx.doi.org/10.1111/cns.12413.

[75] N. Datta, I. T. MacQueen, A. D. Schroeder, J. J. Wilson, J. C. Espinoza, J. P. Wagner, C. J. Filipi, D. C. Chen, Wearable technology for global surgical teleproctoring, in : Journal of surgical education, Vol. 72, Elsevier, 2015, pp. 1290–1295, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.jsurg.2015.07.004.

[76] A. C. W. Baldwin, H. R. Mallidi, J. C. Baldwin, E. Sandoval, W. E. Cohn, O. H. Frazier, S. K. Singh, Through the looking glass : Real-time video using 'smart' technology provides enhanced intraoperative logistics, in : World Journal of Surgery, Vol. 40, Springer, 2016, pp. 242–244, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s00268-015-3235-x.

[77] J. Gillis, P. Calyam, A. Bartels, M. Popescu, S. Barnes, J. Doty, D. Higbee, S. Ahmad, Panacea's glass : Mobile cloud framework for communication in mass casualty disaster triage, in : Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud), 2015 3rd IEEE International Conference on, IEEE, 2015, pp. 128–134, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/MobileCloud.2015.39.

[78] R. Schaer, T. Melly, H. Müller, A. Widmer, Using smart glasses in medical emergency situations, a qualitative pilot study., in : Wireless Health, 2016, pp. 54–58, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/WH.2016.7764556.

[79] M. X. Cicero, B. Walsh, Y. Solad, T. Whitfill, G. Paesano, K. Kim, C. R. Baum, D. C. Cone, Do you see what i see ? insights from using google glass for disaster telemedicine triage, in : Prehospital and disaster medicine, Vol. 30, Cambridge University Press, 2015, pp. 4–8, DOI : http://dx.doi.org/10.1017/S1049023X1400140X.

[80] J. Broach, A. Hart, M. Griswold, J. Lai, E. W. Boyer, A. B. Skolnik, P. R. Chai, Usability and reliability of smart glasses for secondary triage during mass casualty incidents, in : Proc Annu Hawaii Int Conf Syst Sci, Vol. 2018, NIH Public Access, 2018, p. 1416–1422.

[81] M. daly Iversen, S. R. Kiami, K. Singh, I. Masiello, J. von Heideken, Prospective, randomised controlled trial to evaluate the effect of smart glasses on vestibular examination skills, in : BMJ Innovations, BMJ Specialist Journals, 2016, DOI : http://dx.doi.org/10.1136/bmjinnov-2015-000094.

[82] J. Nakhla, A. Kobets, R. De la Garza Ramos, N. Haranhalli, Y. Gelfand, A. Ammar, M. Echt, A. Scoco, M. Kinon, R. Yassari, Use of google glass to enhance surgical education of neurosurgery residents :"proof-of-concept" study, in : World neurosurgery, Vol. 98, Elsevier, 2017, pp. 711–714, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2016.11.122.

[83] E. Rahimy, S. J. Garg, Google glass for recording scleral buckling surgery, in : JAMA ophthalmology, Vol. 133, American Medical Association, 2015, pp. 710–711, DOI : http://dx.doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.0465.

[84] H. M. Knight, P. R. Gajendragadkar, A. M. Bokhari, Wearable technology : using google glass as a teaching tool., in : BMJ case reports, Vol. 2015, 2015, DOI : http://dx.doi.org/10.1136/bcr-2014-208768.

[85] R. Sahyouni, O. Moshtaghi, D. K. Tran, S. Kaloostian, R. Rajaii, D. Bustillo, J. W. Chen, Assessment of google glass as an adjunct in neurological surgery, in : Surgical neurology international, Vol. 8, Wolters Kluwer–Medknow Publications, 2017, DOI : http://dx.doi.org/10.4103/sni.sni_277_16.

[86] J. Tully, C. Dameff, S. Kaib, M. Moffitt, Recording medical students' encounters with standardized patients using google glass : providing end-of-life clinical education, in : Academic Medicine, Vol. 90, LWW, 2015, pp. 314–316, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/ACM.0000000000000620.

[87] J. Youm, W. Wiechmann, Formative feedback from the first-person perspective using google glass in a family medicine objective structured clinical examination station in the united states, in : Journal of educational evaluation for health professions, Vol. 15, 2018, p. 5, DOI : http://dx.doi.org/10.3352/jeehp.2018.15.5. doi:10.3352/jeehp.2018.15.5.

[88] D. Zahl, S. Schrader, P. Edwards, Student perspectives on using egocentric video recorded by smart glasses to assess communicative and clinical skills with standardised patients, in : European Journal of Dental Education, Vol. 22, Wiley Online Library, 2018, pp. 73–79, DOI : http://dx.doi.org/10.1111/eje.12217.

[89] E. Son, A. Halbert, S. Abreu, R. Hester, G. Jefferson, K. Jennings, H. Pine, T. Watts, Role of google glass in improving patient satisfaction for otolaryngology residents : a pilot study, in : Clinical Otolaryngology, Vol. 42, Wiley Online Library, 2017, pp. 433–438, DOI : http://dx.doi.org/10.1111/coa.12810.

[90] R. M. Dickey, N. Srikishen, L. I. Lipshultz, P. E. Spiess, R. E. Carrion, T. S. Hakky, Augmented reality assisted surgery : a urologic training tool, in : Asian journal of andrology, Vol. 18, Wolters Kluwer–Medknow Publications, 2016, p. 732, DOI : http://dx.doi.org/10.4103/1008-682X.166436.

[91] H. Lia, G. Paulin, C. T. Yeo, J. Andrews, N. Yi, H. Haq, S. Emmanuel, K. Ludig, Z. Keri, A. Lasso, et al., Hololens in suturing training, in : Medical Imaging 2018 : Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling, Vol. 10576, International Society for Optics and Photonics, 2018, p. 1057628, DOI : http://dx.doi.org/10.1117/12.2293934.

[92] R. G. Peden, R. Mercer, A. J. Tatham, The use of head-mounted display eyeglasses for teaching surgical skills : a prospective randomised study, in : International Journal of Surgery, Vol. 34, Elsevier, 2016, pp. 169–173, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsu.2016.09.002.

[93] B. Chaballout, M. Molloy, J. Vaughn, R. Brisson III, R. Shaw, Feasibility of augmented reality in clinical simulations : using google glass with manikins, in : JMIR medical education, Vol. 2, JMIR Publications Inc., 2016, DOI : http://dx.doi.org/10.2196/mededu.5159.

[94] J. Vaughn, M. Lister, R. J. Shaw, Piloting augmented reality technology to enhance realism in clinical simulation, in : CIN : Computers, Informatics, Nursing, Vol. 34, LWW, 2016, pp. 402–405, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/CIN.0000000000000251.

[95] F. E. Sandnes, What do low-vision users really want from smart glasses ? faces, text and perhaps no glasses at all, in : International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Springer, 2016, pp. 187–194, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-41264-1_25.

[96] M. I. Tanveer, M. E. Hoque, A google glass app to help the blind in small talk, in : Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility, ACM, 2014, pp. 297–298, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2661334.2661338.

[97] A. I. Anam, S. Alam, M. Yeasin, Expression : A dyadic conversation aid using google glass for people with visual impairments, in : Proceedings of the 2014 acm international joint conference on pervasive and ubiquitous computing : Adjunct publication, ACM, 2014, pp. 211–214, DOI : http://dx.doi.org/10.4108/icst.mobicase.2014.257780.

[98] G. Garcia, A. Nahapetian, Wearable computing for image-based indoor navigation of the visually impaired, in : Proceedings of the conference on Wireless Health, ACM, 2015, p. 17, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2811780.2811959.

[99] S. Al-Khalifa, M. Al-Razgan, Ebsar : Indoor guidance for the visually impaired, in : Computers & Electrical Engineering, Vol. 54, Elsevier, 2016, pp. 26–39, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.07.015.

[100] Y. Zhao, M. Hu, S. Hashash, S. Azenkot, Understanding low vision people's visual perception on commercial augmented reality glasses, in : Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2017, pp. 4170–4181, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3025453.3025949.

[101] A. D. Hwang, E. Peli, An augmented-reality edge enhancement application for google glass., in : Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry, Vol. 91 8, NIH Public Access, 2014, pp. 1021–1030, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/OPX.0000000000000326.

[102] C. Hu, G. Zhai, D. Li, An augmented-reality night vision enhancement application for see-through glasses, in : 2015 IEEE International Conference on Multimedia Expo Workshops (ICMEW), IEEE, 2015, pp. 1–6, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ICMEW.2015.7169860.

[103] E. Tanuwidjaja, D. Huynh, K. Koa, C. Nguyen, C. Shao, P. Torbett, C. Emmenegger, N. Weibel, Chroma : a wearable augmented-reality solution for color blindness, in : Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, ACM, 2014, pp. 799–810, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2632048.2632091.

[104] J. Ruminski, Color processing for color-blind individuals using smart glasses, in : Journal of Medical Imaging and Health Informatics, Vol. 5, American Scientific Publishers, 2015, pp. 1652–1661, DOI : http://dx.doi.org/10.1166/jmihi.2015.1629.

[105] T. Langlotz, J. Sutton, S. Zollmann, Y. Itoh, H. Regenbrecht, Chromaglasses : Computational glasses for compensating colour blindness, in : Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2018, pp. 390–402, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3173574.3173964.

[106] S. Pundlik, H. Yi, R. Liu, E. Peli, G. Luo, Magnifying smartphone screen using google glass for low-vision users, in : IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 25, IEEE, 2017, pp. 52–61, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2546062.

[107] L. Stearns, L. Findlater, J. E. Froehlich, Design of an augmented reality magnification aid for low vision users, in : Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ACM, 2018, pp. 28–39, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3234695.3236361.

[108] Y. Zhao, S. Szpiro, J. Knighten, S. Azenkot, Cuesee : exploring visual cues for people with low vision to facilitate a visual search task, in : Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, ACM, 2016, pp. 73–84, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2971648.2971730.

[109] D. Watanabe, Y. Takeuchi, T. Matsumoto, H. Kudo, N. Ohnishi, Communication support system of smart glasses for the hearing impaired, in : International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Springer, 2018, pp. 225–232, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-94277-3_37.

[110] A. Berger, F. Maly, Prototype of a smart google glass solution for deaf (and hearing impaired) people, in : International Conference on Mobile Web and Intelligent Information Systems, Springer, 2018, pp. 38–47, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-97163-6_4.

[111] S. Alkhalifa, M. Al-Razgan, Enssat : wearable technology application for the deaf and hard of hearing, in : Multimedia Tools and Applications, Vol. 77, Springer, 2018, pp. 22007–22031, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s11042-018-5860-5.

[112] B. S. Parton, Glass vision 3d : digital discovery for the deaf, in : TechTrends, Vol. 61, Springer, 2017, pp. 141–146, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s11528-016-0090-z.

[113] A. Miller, J. Malasig, B. Castro, V. L. Hanson, H. Nicolau, A. Brandão, The use of smart glasses for lecture comprehension by deaf and hard of hearing students, in : Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2017, pp. 1909–1915, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3027063.3053117.

[114] A. Ioannou, V. Constantinou, Augmented reality supporting deaf students in mainstream schools : Two case studies of practical utility of the technology, in : Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning, Springer, 2017, pp. 387–396, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-75175-7_39.

[115] M. Malu, L. Findlater, Personalized, wearable control of a head-mounted display for users with upper body motor impairments, in : Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2015, pp. 221–230, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702188.

[116] J. Gips, M. Zhang, D. Anderson, Towards a google glass based head control communication system for people with disabilities, in : International Conference on Human-Computer Interaction, Springer, 2015, pp. 399–404, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-21383-5_67.

[117] D. A. Sinyukov, R. Li, N. W. Otero, R. Gao, T. Padir, Augmenting a voice and facial expression control of a robotic wheelchair with assistive navigation, in : 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2014, pp. 1088–1094, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/SMC.2014.6974059.

[118] Y. Zhao, T. Heida, E. E. van Wegen, B. R. Bloem, R. J. van Wezel, E-health support in people with parkinson's disease with smart glasses : a survey of user requirements and expectations in the netherlands, in : Journal of Parkinson's disease, Vol. 5, IOS Press, 2015, pp. 369–378, DOI : http://dx.doi.org/10.3233/JPD-150568.

[119] Y. Zhao, J. Nonnekes, E. J. Storcken, S. Janssen, E. E. van Wegen, B. R. Bloem, L. D. Dorresteijn, J. P. van Vugt, T. Heida, R. J. van Wezel, Feasibility of external rhythmic cueing with the google glass for improving gait in people with parkinson's disease, in : Journal of neurology, Vol. 263, Springer, 2016, pp. 1156–1165, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s00415-016-8115-2.

[120] M. Pervaiz, R. Patel, Speechometer : heads-up monitoring to improve speech clarity, in : Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility, ACM, 2014, pp. 319–320, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2661334.2661339.

[121] R. McNaney, I. Poliakov, J. Vines, M. Balaam, P. Zhang, P. Olivier, Lapp : a speech loudness application for people with parkinson's on google glass, in : Proceedings of the 33rd annual ACM conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2015, pp. 497–500, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702292.

[122] K. Ha, Z. Chen, W. Hu, W. Richter, P. Pillai, M. Satyanarayanan, Towards wearable cognitive assistance, in : Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile systems, applications, and services, ACM, 2014, pp. 68–81, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2594368.2594383.

[123] T. Way, A. Bemiller, R. Mysari, C. Reimers, Using google glass and machine learning to assist people with memory deficiencies, in : Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI), The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2015, pp. 571–578.

[124] D. Miranda, M. Calderón, J. Favela, Anxiety detection using wearable monitoring, in : Proceedings of the 5th Mexican Conference on Human-Computer Interaction, ACM, 2014, p. 34, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2676690.2676694.

[125] K. Williams, K. Moffatt, D. McCall, 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, ACM, 2015, pp. 231–240, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702484.

[126] R. Liu, J. P. Salisbury, A. Vahabzadeh, N. T. Sahin, Feasibility of an autism-focused augmented reality smartglasses system for social communication and behavioral coaching, in : Frontiers in pediatrics, Vol. 5, Frontiers, 2017, pp. 145–152, DOI : http://dx.doi.org/10.3389/fped.2017.00145.

[127] N. T. Sahin, N. U. Keshav, J. P. Salisbury, A. Vahabzadeh, Second version of google glass as a wearable socio-affective aid : Positive school desirability, high usability, and theoretical framework in a sample of children with autism, in : JMIR human factors, Vol. 5, JMIR Publications Inc., 2018, DOI : http://dx.doi.org/10.2196/humanfactors.8785.

[128] N. Keshav, A. Vahabzadeh, R. Abdus-Sabur, K. Huey, J. Salisbury, R. Liu, N. Sahin, Longitudinal socio-emotional learning intervention for autism via smartglasses : Qualitative school teacher descriptions of practicality, usability, and efficacy in general and special education classroom settings, in : Education Sciences, Vol. 8, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2018, p. 107, DOI : http://dx.doi.org/10.3390/educsci8030107.

[129] N. U. Keshav, J. P. Salisbury, A. Vahabzadeh, N. T. Sahin, Social communication coaching smartglasses : well tolerated in a diverse sample of children and adults with autism, in : JMIR mHealth and uHealth, Vol. 5, JMIR Publications Inc., 2017, DOI : http://dx.doi.org/10.2196/mhealth.8534.

[130] N. Sahin, N. Keshav, J. Salisbury, A. Vahabzadeh, Safety and lack of negative effects of wearable augmented-reality social communication aid for children and adults with autism, in : Journal of clinical medicine, Vol. 7, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2018, p. 188, DOI : http://dx.doi.org/10.3390/jcm7080188.

[131] P. Washington, C. Voss, A. Kline, N. Haber, J. Daniels, A. Fazel, T. De, C. Feinstein, T. Winograd, D. Wall, Superpowerglass : a wearable aid for the at-home therapy of children with autism, in : Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, Vol. 1, ACM, 2017, p. 112, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3130977.

[132] J. Hernandez, Y. Li, J. M. Rehg, R. W. Picard, Bioglass : Physiological parameter estimation using a head-mounted wearable device, in : Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), 2014 EAI 4th International Conference on, IEEE, 2014, pp. 55–58, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/MOBIHEALTH.2014.7015908.

[133] R. Richer, T. Maiwald, C. F. Pasluosta, B. Hensel, B. M. Eskofier, Novel human computer interaction principles for cardiac feedback using google glass and android wear, in : 2015 IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2015, pp. 1–6, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/BSN.2015.7299363.

[134] M. Wiesner, M. Pobiruchin, C. Hetterich, D. Pfeifer, Glassallergy : a google glass-based solution to empower patients with skin allergies., in : MIE, 2014, pp. 548–552, DOI : http://dx.doi.org/10.3233/978-1-61499-432-9-548.

[135] S. A. Rahman, C. Merck, Y. Huang, S. Kleinberg, Unintrusive eating recognition using google glass, in : Proceedings of the 9th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2015, pp. 108–111, DOI : http://dx.doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2015.259044.

[136] X. Ye, G. Chen, Y. Cao, Automatic eating detection using head-mount and wrist-worn accelerometers, in : 2015 17th International Conference on E-health Networking, Application Services (HealthCom), 2015, pp. 578–581, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/HealthCom.2015.7454568.

[137] M. Mirtchouk, C. Merck, S. Kleinberg, Automated estimation of food type and amount consumed from body-worn audio and motion sensors, in : Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, ACM, 2016, pp. 451–462, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2971648.2971677.

[138] A. MacLean, R. M. Young, V. M. Bellotti, T. P. Moran, Questions, options, and criteria : Elements of design space analysis, in : Human–computer interaction, Vol. 6, Taylor & Francis, 1991, pp. 201–250.

[139] M. Beaudouin-Lafon, W. E. Mackay, Prototyping tools and techniques, in : Human Computer Interaction-Development Process, Lawrence Erlbaum Associates Hillsdale, NJ, 2003, pp. 122–142, DOI : http://dx.doi.org/10.1201/9781410615862.

[140] H.-J. Schulz, T. Nocke, M. Heitzler, H. Schumann, A design space of visualization tasks, in : IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 19, IEEE, 2013, pp. 2366–2375, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2013.120.

[141] R. Haeuslschmid, B. Pfleging, F. Alt, A design space to support the development of windshield applications for the car, in : Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2016, pp. 5076–5091, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858336.

[142] M. Nancel, S. Huot, M. Beaudouin-Lafon, Un espace de conception fondé sur une analyse morphologique des techniques de menus, in : Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine, ACM, 2009, pp. 13–22, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1629826.1629829.

[143] G. Potamias, State of the art on systems for data analysis, information retrieval and decision support, in : INFOBIOMED project, Deliverable D, Vol. 13, 2006.

[144] D. Armijo, C. McDonnell, K. Werner, Electronic health record usability : evaluation and use case framework, in : AHRQ Publication, 2009, p. 10.

[145] L. Chittaro, Information visualization and its application to medicine, in : Artificial intelligence in medicine, Vol. 22, Elsevier, 2001, pp. 81–88, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/S0933-3657(00)00101-9.

[146] D. T. Bauer, S. A. Guerlain, 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, Vol. 50, SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2006, pp. 1054–1058, DOI : http://dx.doi.org/10.1177/154193120605001011.

[147] A. Rind, T. D. Wang, W. Aigner, S. Miksch, K. Wongsuphasawat, C. Plaisant, B. Shneiderman, et al., Interactive information visualization to explore and query electronic health records, in : Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction, Vol. 5, Now Publishers, Inc., 2013, pp. 207–298, DOI : http://dx.doi.org/10.1561/1100000039.

[148] B. J. Lesselroth, D. S. Pieczkiewicz, Data visualization strategies for the electronic health record, 2011.

[149] R. Kosara, S. Miksch, Visualization methods for data analysis and planning in medical applications, in : International journal of medical informatics, Vol. 68, Elsevier, 2002, pp. 141–153, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/S1386-5056(02)00072-2.

[150] O. Spencer-Thomas, Press release : getting the facts straight, http://www.owenspencer-thomas.com/journalism/media-tips/writing-a-press-release/, consulté le 02 Février 2019.

[151] K. Bondale, Project planning should start with the 5 w questions before getting to the how ?, https://kbondale.wordpress.com/2012/05/27/project-planning-starts-with-5-ws/, consulté le 02 Février 2019.

[152] S. Buttry, The 5 w's (and how) are even more important to business than to journalism, https://stevebuttry.wordpress.com/2011/04/27/the-5-w's-and-how-are-even-more-important-to-business-than-to-journalism/, consulté le 02 Février 2019.

[153] Z. Zhang, B. Wang, F. Ahmed, I. Ramakrishnan, R. Zhao, A. Viccellio, K. Mueller, The five ws for information visualization with application to healthcare informatics, in : IEEE transactions on visualization and computer graphics, Vol. 19, IEEE, 2013, pp. 1895–1910, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2013.89.

[154] C. Plaisant, R. Mushlin, A. Snyder, J. Li, D. Heller, B. Shneiderman, Lifelines : using visualization to enhance navigation and analysis of patient records, in : The Craft of Information Visualization, 2003, pp. 308–312, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/B978-155860915-0/50038-X.

[155] P. Ruchikachorn, J. J. Liang, M. Devarakonda, K. Mueller, Watson-aided non-linear problem-oriented clinical visit preparation on tablet computer, in : The IEEE VIS 2014 Workshop on Visualization of Electronic Health Records, 2014, pp. 1–4.

[156] A. Faiola, P. Srinivas, J. Duke, Supporting clinical cognition : a human-centered approach to a novel icu information visualization dashboard, in : AMIA Annual Symposium Proceedings, Vol. 2015, American Medical Informatics Association, 2015, p. 560.

[157] Y. Jin, Interactive medical record visualization based on symptom location in a 2d human body, Ph.D. thesis, Université d'Ottawa/University of Ottawa, DOI : http://dx.doi.org/10.20381/ruor-5245 (2016).

[158] M. M. Thomas, T. Kannampallil, J. Abraham, G. E. Marai, Echo : A large display interactive visualization of icu data for effective care handoffs, in : 2017 IEEE Workshop on Visual Analytics in Healthcare (VAHC), IEEE, 2017, pp. 47–54, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/VAHC.2017.8387500.

[159] F. Dabek, E. Jimenez, J. J. Caban, A timeline-based framework for aggregating and summarizing electronic health records, in : 2017 IEEE Workshop on Visual Analytics in Healthcare (VAHC), IEEE, 2017, pp. 55–61, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/VAHC.2017.8387501.

[160] X. Zhang, Z. Deng, F. Parvinzamir, F. Dong, Myhealthavatar lifestyle management support for cancer patients, in : ecancermedicalscience, Vol. 12, Cancer Intelligence, 2018, DOI : http://dx.doi.org/10.3332/ecancer.2018.849.

[161] C. Vo, T. Cao, N. Doan, S. Tu, A. Nguyen, B. Nguyen, B. Ho, Electronic medical record visualization for patient progress tracking, in : International Symposium on Affective Science and Engineering, Japan Society of Kansei Engineering, 2018, pp. 1–6, DOI : http://dx.doi.org/10.5057/isase.2018-C000018.

[162] J. L. Warner, J. C. Denny, D. A. Kreda, G. Alterovitz, Seeing the forest through the trees : uncovering phenomic complexity through interactive network visualization., in : JAMIA, Vol. 22, 2015, pp. 324–329, DOI : http://dx.doi.org/10.1136/amiajnl-2014-002965.

[163] C.-W. Huang, S. Syed-Abdul, W.-S. Jian, U. Iqbal, P.-A. Nguyen, P. Lee, S.-H. Lin, W.-D. Hsu, M.-S. Wu, C.-F. Wang, et al., A novel tool for visualizing chronic kidney disease associated polymorbidity : a 13-year cohort study in taiwan, in : Journal of the American Medical Informatics Association, Vol. 22, Oxford University Press, 2015, pp. 290–298, DOI : http://dx.doi.org/10.1093/jamia/ocu044.

[164] M. H. Loorak, C. Perin, N. Kamal, M. Hill, M. S. T. Carpendale, Timespan : Using visualization to explore temporal multi-dimensional data of stroke patients, in : IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 22, 2016, pp. 409–418, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2015.2467325.

[165] E. Mlaver, J. L. Schnipper, R. B. Boxer, D. J. Breuer, E. F. Gershanik, P. C. Dykes, A. F. Massaro, J. Benneyan, D. W. Bates, L. S. Lehmann, User-centered collaborative design and development of an inpatient safety dashboard, in : The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety, Vol. 43, Elsevier, 2017, pp. 676–685, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.jcjq.2017.05.010.

[166] B. Shneiderman, The eyes have it : A task by data type taxonomy for information visualizations, in : Visual Languages, IEEE, 1996, pp. 336–343, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/VL.1996.545307.

[167] E. Brunelle, Les variables, http://ebrunelle.profweb.ca/MQ/Chapitre2.pdf, consulté le 02 Février 2019.

[168] H. Tamura, S. Mori, T. Yamawaki, Textural features corresponding to visual perception, in : IEEE Transactions on Systems, man, and cybernetics, Vol. 8, IEEE, 1978, pp. 460–473, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1978.4309999.

[169] B. Healthcare, Optimizing image quality in the radiologist's field of vision, http://www.dieurope.com/LiteratureRetrieve.aspx?ID=121794, consulté le 02 Février 2019.

[170] A. . A. nationale d'accréditation et d'évaluation en santé, Dossier du patient : Réglementation et recommandations, https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-08/dossier_du_patient_-_fascicule_1_reglementation_et_recommandations_-_2003.pdf, consulté le 02 Février 2019.

[171] D. M. Frohlich, The design space of interfaces, in : Multimedia, Springer, 1992, pp. 53–69, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-77331-0_5.

[172] J. S. Yi, Y. ah Kang, J. T. Stasko, J. A. Jacko, et al., Toward a deeper understanding of the role of interaction in information visualization, in : IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics, IEEE, 2007, pp. 1224–1231, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2007.70515.

[173] Y. K. Leung, M. D. Apperley, A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques, in : ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), Vol. 1, ACM, 1994, pp. 126–160, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/180171.180173.

[174] V. L. West, D. Borland, W. E. Hammond, Innovative information visualization of electronic health record data : a systematic review, in : Journal of the American Medical Informatics Association, Vol. 22, Oxford University Press, 2014, pp. 330–339, DOI : http://dx.doi.org/10.1136/amiajnl-2014-002955.

[175] I. Spence, William playfair and the psychology of graphs, in : Proceedings of the American Statistical Association, Section on Statistical Graphics, 2006, pp. 2426–2436.

[176] J. Bertin, W. J. Berg, H. Wainer, Semiology of graphics : diagrams, networks, maps, Vol. 1, 1983.

[177] M. Schneider-Hufschmidt, U. Malinowski, T. Kuhme, Adaptive user interfaces : Principles and practice, 1993.

[178] K. Ramachandran, Adaptive user interfaces for health care applications, https://www.ibm.com/developerworks/library/wa-uihealth/, consulté le 02 Février 2019.

[179] N. Bricon-Souf, C. R. Newman, Context awareness in health care : A review, in : international journal of medical informatics, Vol. 76, Elsevier, 2007, pp. 2–12, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2006.01.003.

[180] S. Sridevi, B. Sayantani, K. P. Amutha, C. M. Mohan, R. Pitchiah, Context aware health monitoring system, in : International Conference on Medical Biometrics, Springer, 2010, pp. 249–257, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-13923-9_27.

[181] A. MacLean, R. M. Young, T. P. Moran, Design rationale : the argument behind the artifact, in : ACM SIGCHI Bulletin, Vol. 20, ACM, 1989, pp. 247–252, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/67450.67497.

[182] M. M. Biskjaer, P. Dalsgaard, K. Halskov, A constraint-based understanding of design spaces, in : Proceedings of the 2014 conference on Designing interactive systems, ACM, 2014, pp. 453–462, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2598510.2598533.

[183] I. Belkacem, B. Martin, I. Pecci, Exploring a design space for electronic health record visualization, in : Proceedings of the 29th Conference on l'Interaction Homme-Machine, ACM, 2017, pp. 325–334, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3132129.3132165.

[184] D. W. Flynt, B. T. Agnetta, S. L. Barton, E. L. Escardo-Raffo, T. Sengupta, P. G. Chin, H.-s. H. Luke, Tile space user interface for mobile devices, uS Patent 7,933,632 (Apr. 26 2011).

[185] W. E. Walter, C. Persich, Active tiled user interface, uS Patent 9,489,216 (Nov. 8 2016).

[186] J. D. Gandre, Perspective windowing technique for computer graphical user interface, uS Patent 5,754,809 (May 19 1998).

[187] M. Jones, G. Marsden, N. Mohd-Nasir, K. Boone, G. Buchanan, Improving web interaction on small displays, in : Computer Networks, Vol. 31, Elsevier, 1999, pp. 1129–1137, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1286(99)00013-4.

[188] S. Pook, Interaction et contexte dans les interfaces zoomables, Ph.D. thesis, Télécom ParisTech (2001).

[189] D. C. Robbins, E. Cutrell, R. Sarin, E. Horvitz, Zonezoom : map navigation for smartphones with recursive view segmentation, in : Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, ACM, 2004, pp. 231–234, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/989863.989901.

[190] C. Chen, Information visualization : Beyond the horizon, 2006, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/1-84628-579-8.

[191] N. Kadmon, E. Shlomi, A polyfocal projection for statistical surfaces, in : The Cartographic Journal, Vol. 15, Taylor & Francis, 1978, pp. 36–41, DOI : http://dx.doi.org/10.1179/caj.1978.15.1.36.

[192] R. Spence, M. Apperley, Data base navigation : an office environment for the professional, in : Behaviour & Information Technology, Vol. 1, Taylor & Francis, 1982, pp. 43–54, DOI : http://dx.doi.org/10.1080/01449298208914435.

[193] G. W. Furnas, Generalized fisheye views, Vol. 17, 1986, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/22339.22342.

[194] J. D. Mackinlay, G. G. Robertson, S. K. Card, The perspective wall : Detail and context smoothly integrated, in : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM, 1991, pp. 173–176, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/108844.108870.

[195] M. Sarkar, M. H. Brown, Graphical fisheye views of graphs, in : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM, 1992, pp. 83–91, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/142750.142763.

[196] M. Raynal, J.-L. Vinot, P. Truillet, Fisheye keyboard : Whole keyboard displayed on small device, in : UIST 2007, 20th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2007, pp. 65–66.

[197] B. B. Bederson, J. D. Hollan, Pad++ : a zooming graphical interface for exploring alternate interface physics, in : Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology, ACM, 1994, pp. 17–26, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/192426.192435.

[198] M. Zizi, M. Beaudouin-Lafon, Hypermedia exploration with interactive dynamic maps, in : International Journal of Human Computer Studies, Vol. 43, Citeseer, 1995, pp. 441–464, DOI : http://dx.doi.org/10.1006/ijhc.1995.1053.

[199] F. van Ham, J. J. van Wijk, Interactive visualization of small world graphs, in : IEEE Symposium on Information Visualization, 2004, pp. 199–206, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/INFOVIS.2004.43.

[200] P. Janecek, P. Pu, A framework for designing fisheye views to support multiple semantic contexts, in : Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, ACM, 2002, pp. 51–58, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1556262.1556269.

[201] P. Janecek, V. Schickel, P. Pu, Information sensemaking using semantic fisheye views, 2004.

[202] T. Segaran, C. Evans, J. Taylor, Programming the Semantic Web : Build Flexible Applications with Graph Data, 2009.

[203] G. Van Heijst, A. T. Schreiber, B. J. Wielinga, Using explicit ontologies in kbs development, in : International journal of human-computer studies, Vol. 46, Academic Press, 1997, pp. 183–292, DOI : http://dx.doi.org/10.1006/ijhc.1996.0090.

[204] P. Gayet, J. Charlet, N. Janin, E. Clout, G. Decleck, P. Miroux, Une synthèse du dossier médical pour décider aux urgences : le projet lerudi, in : Annales françaises de médecine d'urgence, Vol. 7, Lavoisier, 2017, pp. 166–173, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/s13341-017-0755-z.

[205] G. Pirró, J. Euzenat, A feature and information theoretic framework for semantic similarity and relatedness, in : International semantic web conference, Springer, 2010, pp. 615–630, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-17746-0_39.

[206] E. G. Petrakis, G. Varelas, A. Hliaoutakis, P. Raftopoulou, X-similarity : Computing semantic similarity between concepts from different ontologies., in : Journal of Digital Information Management, Vol. 4, 2006, pp. 233–237.

[207] Z. Wu, M. Palmer, Verbs semantics and lexical selection, in : Proceedings of the 32nd annual meeting on Association for Computational Linguistics, Association for Computational Linguistics, 1994, pp. 133–138, DOI : http://dx.doi.org/10.3115/981732.981751.

[208] S. Niwattanakul, J. Singthongchai, E. Naenudorn, S. Wanapu, Using of jaccard coefficient for keywords similarity, in : Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Vol. 1, 2013.

[209] E. H. Bradley, J. Herrin, B. Elbel, R. L. McNamara, D. J. Magid, B. K. Nallamothu, Y. Wang, S.-L. T. Normand, J. A. Spertus, H. M. Krumholz, Hospital quality for acute myocardial infarction : correlation among process measures and relationship with short-term mortality, in : Jama, Vol. 296, American Medical Association, 2006, pp. 72–78, DOI : http://dx.doi.org/10.1001/jama.296.1.72.

[210] P. G. Morton, D. Fontaine, C. Hudak, B. Gallo, Critical care nursing : a holistic approach, Vol. 1, 2005.

[211] T. Wenham, A. Pittard, Intensive care unit environment, in : Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain, Vol. 9, Oxford University Press, 2009, pp. 178–183, DOI : http://dx.doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkp036.

[212] J. Carr, Psychological consequences associated with intensive care treatment, in : Trauma, Vol. 9, Sage Publications Sage UK : London, England, 2007, pp. 95–102, DOI : http://dx.doi.org/10.1177/1460408607083963.

[213] K. M. Sutcliffe, E. Lewton, M. M. Rosenthal, Communication failures : an insidious contributor to medical mishaps, in : Academic Medicine, Vol. 79, LWW, 2004, pp. 186–194, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/00001888-200402000-00019.

[214] A. Parush, C. Kramer, T. Foster-Hunt, K. Momtahan, A. Hunter, B. Sohmer, Communication and team situation awareness in the or : Implications for augmentative information display, in : Journal of biomedical informatics, Vol. 44, Elsevier, 2011, pp. 477–485, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.jbi.2010.04.002.

[215] T. W. Reader, R. Flin, K. Mearns, B. H. Cuthbertson, Interdisciplinary communication in the intensive care unit, in : British journal of anaesthesia, Vol. 98, Oxford University Press, 2007, pp. 347–352, DOI : http://dx.doi.org/10.1093/bja/ael372.

[216] M. C. Reddy, P. Dourish, W. Pratt, Coordinating heterogeneous work : information and representation in medical care, in : ECSCW 2001, Springer, 2001, pp. 239–258, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/0-306-48019-0_13.

[217] M. S. Donaldson, J. M. Corrigan, L. T. Kohn, et al., To err is human : building a safer health system, Vol. 6, 2000.

[218] P. Srinivas, Mediating icu patient situation-awareness with visual and tactile notifications, Ph.D. thesis (2016).

[219] P. H. Mitchell, Defining patient safety and quality care, Agency for Healthcare Research and Quality (US), 2008.

[220] V. L. Patel, J. Zhang, N. A. Yoskowitz, R. Green, O. R. Sayan, Translational cognition for decision support in critical care environments : a review, in : Journal of biomedical informatics, Vol. 41, Elsevier, 2008, pp. 413–431, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.jbi.2008.01.013.

[221] D. J. Cullen, B. J. Sweitzer, D. W. Bates, E. Burdick, A. Edmondson, L. L. Leape, Preventable adverse drug events in hospitalized patients : a comparative study of intensive care and general care units, in : Critical care medicine, Vol. 25, LWW, 1997, pp. 1289–1297, DOI : http://dx.doi.org/10.1097/00003246-199708000-00014.

[222] D. W. Bates, M. Cohen, L. L. Leape, J. M. Overhage, M. M. Shabot, T. Sheridan, Reducing the frequency of errors in medicine using information technology, in : Journal of the American Medical Informatics Association, Vol. 8, BMJ Group BMA House, Tavistock Square, London, WC1H 9JR, 2001, pp. 299–308, DOI : http://dx.doi.org/10.1136/jamia.2001.0080299.

[223] M. Card, Readings in information visualization : using vision to think, 1999.

[224] R. Bade, S. Schlechtweg, S. Miksch, Connecting time-oriented data and information to a coherent interactive visualization, in : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM, 2004, pp. 105–112, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/985692.985706.

[225] C. Romare, U. Hass, L. Skär, Healthcare professionals' views of smart glasses in intensive care : A qualitative study, in : Intensive and Critical Care Nursing, Vol. 45, Elsevier, 2018, pp. 66–71, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.iccn.2017.11.006.

[226] V. L. Payne, D. P. Metzler, Hospital care watch (hcw) : an ontology and rule-based intelligent patient management assistant, in : 18th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'05), 2005, pp. 479–484, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/CBMS.2005.64.

[227] A. E. Johnson, T. J. Pollard, L. Shen, H. L. Li-wei, M. Feng, M. Ghassemi, B. Moody, P. Szolovits, L. A. Celi, R. G. Mark, Mimic-iii, a freely accessible critical care database, in : Scientific data, Vol. 3, Nature Publishing Group, 2016, p. 160035, DOI : http://dx.doi.org/10.1038/sdata.2016.35.

[228] A. Bangor, P. T. Kortum, J. T. Miller, An empirical evaluation of the system usability scale, in : Intl. Journal of Human–Computer Interaction, Vol. 24, Taylor & Francis, 2008, pp. 574–594, DOI : http://dx.doi.org/10.1080/10447310802205776.

[229] I. Belkacem, I. Pecci, B. Martin, Smart glasses : A semantic fisheye view on tiled user interfaces, in : 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), IEEE, 2016, pp. 1405–1408, DOI : http://dx.doi.org/10.15439/2016F495.

[230] I. Belkacem, A. Faiola, D. Bergey, I. Pecci, B. Martin, Towards the design of a smart glasses application for micu decision-support : Assessing the human factors impact of data portability & accessibility, in : Proceedings of the International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care, Vol. 8, SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA, 2019, pp. 52–56, DOI : http://dx.doi.org/10.1177/2327857919081012.

[231] Google glass project., https://en.wikipedia.org/wiki/Google-Glass/, consulté le 02 Février 2019.

[232] S. Yi, Z. Qin, E. Novak, Y. Yin, Q. Li, Glassgesture : Exploring head gesture interface of smart glasses, in : 2016 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2016, pp. 1017–1018, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOM.2016.7524542.

[233] B. Kollee, S. Kratz, 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, ACM, 2014, pp. 40–49, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2659766.2659781.

[234] Y.-C. Tung, C.-Y. Hsu, H.-Y. Wang, S. Chyou, J.-W. Lin, P.-J. Wu, A. Valstar, M. Y. Chen, User-defined game input for smart glasses in public space, in : Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2015, pp. 3327–3336, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702214.

[235] M. F. Roig-Maimó, I. S. MacKenzie, C. Manresa-Yee, J. Varona, Head-tracking interfaces on mobile devices : Evaluation using fitts' law and a new multi-directional corner task for small displays, in : International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 112, Elsevier, 2018, pp. 1–15, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.12.003.

[236] M. Ward, R. Azuma, R. Bennett, S. Gottschalk, 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, ACM, 1992, pp. 43–52, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/147156.147162.

[237] M. Bichsel, A. Pentland, Automatic interpretation of human head movements, in : 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Workshop on Looking At People, Chambery, France, 1993.

[238] M. B. López, J. Hannuksela, O. Silvén, 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, pp. 27–34, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/CVPRW.2012.6238891.

[239] C. J. Lin, S.-H. Ho, Y.-J. Chen, An investigation of pointing postures in a 3d stereoscopic environment, in : Applied ergonomics, Vol. 48, Elsevier, 2015, pp. 154–163, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2014.12.001.

[240] A. M. Bernardos, D. Gómez, J. R. Casar, A comparison of head pose and deictic pointing interaction methods for smart environments, in : International Journal of Human-Computer Interaction, Vol. 32, Taylor & Francis, 2016, pp. 325–351, DOI : http://dx.doi.org/10.1080/10447318.2016.1142054.

[241] C. A. Avizzano, P. Sorace, D. Checcacci, M. Bergamasco, A navigation interface based on head tracking by accelerometers, in : RO-MAN 2004. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (IEEE Catalog No.04TH8759), 2004, pp. 625–630, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ROMAN.2004.1374834.

[242] Y. Chi, S. Ong, M. Yuan, A. Nee, Wearable interface for the physical disabled, in : Proceedings of the 1st international convention on Rehabilitation engineering & assistive technology : in conjunction with 1st Tan Tock Seng Hospital Neurorehabilitation Meeting, ACM, 2007, pp. 28–32, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1328491.1328500.

[243] R. Malkewitz, Head pointing and speech control as a hands-free interface to desktop computing, in : Proceedings of the third international ACM conference on Assistive technologies, ACM, 1998, pp. 182–188, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/274497.274531.

[244] G.-M. Eom, K.-S. Kim, C.-S. Kim, J. Lee, S.-C. Chung, B. Lee, H. Higa, N. Furuse, R. Futami, T. Watanabe, Gyro-mouse for the disabled :'click'and'position'control of the mouse cursor, in : International Journal of Control, Automation, and Systems, Vol. 5, Institute of Control, Robotics and Systems, 2007, pp. 147–154.

[245] R. O. Atienza, R. A. Blonna, M. I. S. Saludares, J. Casimiro, V. C. Fuentes, Interaction techniques using head gaze for virtual reality, in : 2016 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), 2016, pp. 110–114, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/TENCONSpring.2016.7519387.

[246] F. Wahl, M. Freund, 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, ACM, 2015, pp. 377–380, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2800835.2800914.

[247] C. Yu, Y. Gu, Z. Yang, X. Yi, H. Luo, 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, ACM, 2017, pp. 4479–4488, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3025453.3025964.

[248] Gaze input, microsoft hololens, https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/gaze, consulté le 02 Février 2019.

[249] S. Jalaliniya, D. Mardanbeigi, T. M. Pederson, 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, 2014, pp. 50–53, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/BSN.Workshops.2014.14.

[250] S. Jalaliniya, D. Mardanbegi, T. Pederson, Magic pointing for eyewear computers, in : Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers, ACM, 2015, pp. 155–158, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2802083.2802094.

[251] M. Kytö, B. Ens, T. Piumsomboon, G. A. Lee, 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, ACM, 2018, p. 81, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3173574.3173655.

[252] Y. Y. Qian, 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, ACM, 2017, pp. 91–98, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3131277.3132182.

[253] M. Kölsch, M. Turk, T. Höllerer, Vision-based interfaces for mobility, in : The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems : Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004., 2004, pp. 86–94, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/MOBIQ.2004.1331713.

[254] T. Lee, T. Höllerer, Handy ar : Markerless inspection of augmented reality objects using fingertip tracking, in : 2007 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2007, pp. 83–90, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ISWC.2007.4373785.

[255] G. Heo, D.-W. Lee, H.-C. Shin, H.-T. Jeong, 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), 2015, pp. 585–586, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ICCE.2015.7066537.

[256] L. Chan, Y.-L. Chen, C.-H. Hsieh, R.-H. Liang, 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, ACM, 2015, pp. 549–556, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2807442.2807450.

[257] D. Kim, O. Hilliges, S. Izadi, A. D. Butler, J. Chen, I. Oikonomidis, P. Olivier, 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, ACM, 2012, pp. 167–176, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2380116.2380139.

[258] G. Bailly, J. Müller, M. Rohs, D. Wigdor, S. Kratz, Shoesense : a new perspective on gestural interaction and wearable applications, in : Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2012, pp. 1239–1248, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2207676.2208576.

[259] Z. Huang, W. Li, P. Hui, Ubii : Towards seamless interaction between digital and physical worlds, in : Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia, ACM, 2015, pp. 341–350, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2733373.2806266.

[260] T. Ha, S. K. Feiner, 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), 2014, pp. 219–228, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ISMAR.2014.6948431.

[261] M. S. M. Y. Sait, S. P. Sargunam, D. T. Han, E. D. Ragan, Physical hand interaction for controlling multiple virtual objects in virtual reality, in : Proceedings of the 3rd International Workshop on Interactive and Spatial Computing, ACM, 2018, pp. 64–74, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3191801.3191814.

[262] Gesture input, microsoft hololens, https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/gestures, consulté le 02 Février 2019.

[263] Meta 2, https://meta-eu.myshopify.com/, consulté le 02 Février 2019.

[264] E. N. Arcoverde Neto, R. M. Duarte, R. M. Barreto, J. P. Magalhães, C. Bastos, T. I. Ren, G. D. Cavalcanti, Enhanced real-time head pose estimation system for mobile device, in : Integrated Computer-Aided Engineering, Vol. 21, IOS Press, 2014, pp. 281–293, DOI : http://dx.doi.org/10.3233/ICA-140462.

[265] J.-P. Deblonde, G. Casiez, L. Grisoni, Méthode de détermination des fonctions de gains., in : IHM, 2010, pp. 141–144, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1941007.1941031.

[266] P. M. Fitts, The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement., in : Journal of experimental psychology, Vol. 47, American Psychological Association, 1954, p. 381, DOI : http://dx.doi.org/10.1037/h0055392.

[267] I. S. MacKenzie, A note on the information-theoretic basis for fitts' law, in : Journal of motor behavior, Vol. 21, Taylor & Francis, 1989, pp. 323–330, DOI : http://dx.doi.org/10.1080/00222895.1989.10735486.

[268] A. T. Welford, Fundamentals of skill., Methuen, 1968.

[269] R. W. Soukoreff, I. S. MacKenzie, Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of fitts' law research in hci, in : International journal of human-computer studies, Vol. 61, Elsevier, 2004, pp. 751–789, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2004.09.001.

[270] I. Iso, 9241–411 ergonomics of human-system interaction–part 411 : Evaluation methods for the design of physical input devices, in : International Organization for Standardization, 2012.

[271] S. Zhai, Characterizing computer input with fitts' law parameters—the information and non-information aspects of pointing, in : International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 61, Elsevier, 2004, pp. 791–809, DOI : http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2004.09.006.

[272] I. S. MacKenzie, T. Kauppinen, M. Silfverberg, Accuracy measures for evaluating computer pointing devices, in : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM, 2001, pp. 9–16, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/365024.365028.

[273] R. J. Teather, A. Pavlovych, W. Stuerzlinger, I. S. MacKenzie, Effects of tracking technology, latency, and spatial jitter on object movement, in : 3D User Interfaces, 2009. 3DUI 2009. IEEE Symposium on, IEEE, 2009, pp. 43–50, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/3DUI.2009.4811204.

[274] E. Foxlin, et al., Motion tracking requirements and technologies, in : Handbook of virtual environment technology, Vol. 8, ch, 2002, pp. 163–210.

[275] I. S. MacKenzie, C. Ware, Lag as a determinant of human performance in interactive systems, in : Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems, ACM, 1993, pp. 488–493, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/169059.169431.

[276] R. H. So, G. K. Chung, Sensory motor responses in virtual environments : Studying the effects of image latencies for target-directed hand movement, in : 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, IEEE, 2006, pp. 5006–5008, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/IEMBS.2005.1615599.

[277] C. Ware, R. Balakrishnan, Reaching for objects in vr displays : lag and frame rate, in : ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), Vol. 1, ACM, 1994, pp. 331–356, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/198425.198426.

[278] marketsandmarkets.com, Gesture recognition and touchless sensing market by technology (touch-based and touchless), product (sanitary equipment, touchless biometric), industry, and geography - global forecast to 2022, http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/touchless-sensinggesturing-market-369, consulté le 02 Février 2019.

[279] G. Casiez, D. Vogel, R. Balakrishnan, A. Cockburn, The impact of control-display gain on user performance in pointing tasks, in : Human–computer interaction, Taylor & Francis, 2008, pp. 215–250, DOI : http://dx.doi.org/10.1080/07370020802278163.

[280] I. Belkacem, I. Pecci, B. Martin, Pointing task on smart glasses : Comparison of four interaction techniques, arXiv preprint arXiv :1905.05810Link : https://arxiv.org/abs/1905.05810.

[281] R. McCall, B. Martin, A. Popleteev, N. Louveton, T. Engel, Text entry on smart glasses, in : 2015 8th International Conference on Human System Interaction (HSI), IEEE, 2015, pp. 195–200, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/HSI.2015.7170665.

[282] H. P. Profita, J. Clawson, S. Gilliland, C. Zeagler, T. Starner, J. Budd, E. Y.-L. Do, Don't mind me touching my wrist : a case study of interacting with on-body technology in public, in : Proceedings of the 2013 International Symposium on Wearable Computers, ACM, 2013, pp. 89–96, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2493988.2494331.

[283] I. Oakley, J.-S. Park, Designing eyes-free interaction, in : International Workshop on Haptic and Audio Interaction Design, Springer, 2007, pp. 121–132, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-76702-2_13.

[284] H. Kim, M. Sohn, S. Kim, J. Pak, W. Lee, Button keyboard : a very small keyboard with universal usability for wearable computing, in : IFIP Conference on Human-Computer Interaction, Springer, 2007, pp. 343–346, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74796-3_32.

[285] K. Lyons, T. Starner, D. Plaisted, J. Fusia, A. Lyons, A. Drew, E. Looney, Twiddler typing : one-handed chording text entry for mobile phones, in : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, ACM, 2004, pp. 671–678, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/985692.985777.

[286] J. Oliveira, T. Guerreiro, H. Nicolau, J. Jorge, D. Gonçalves, Brailletype : unleashing braille over touch screen mobile phones, in : IFIP Conference on Human-Computer Interaction, Springer, 2011, pp. 100–107, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-23774-4_10.

[287] S. Mascetti, C. Bernareggi, M. Belotti, Typeinbraille : a braille-based typing application for touchscreen devices, in : The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility, ACM, 2011, pp. 295–296, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2049536.2049614.

[288] B. Frey, C. Southern, M. Romero, Brailletouch : mobile texting for the visually impaired, in : International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction, Springer, 2011, pp. 19–25, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-21666-4_3.

[289] S. Azenkot, J. O. Wobbrock, S. Prasain, R. E. Ladner, Input finger detection for nonvisual touch screen text entry in perkinput, in : Proceedings of Graphics Interface 2012, Canadian Information Processing Society, 2012, pp. 121–129.

[290] H. Tinwala, I. S. MacKenzie, Eyes-free text entry on a touchscreen phone, in : Science and Technology for Humanity (TIC-STH), 2009 IEEE Toronto International Conference, IEEE, 2009, pp. 83–88, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/TIC-STH.2009.5444381.

[291] J. O. Wobbrock, B. A. Myers, 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, ACM, 2003, pp. 61–70, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/964696.964703.

[292] K. Perlin, Quikwriting : continuous stylus-based text entry, in : ACM Symposium on User Interface Software and Technology, Citeseer, 1998, pp. 215–216, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/288392.288613.

[293] 8pen project, http://www.8pen.com/, consulté le 14 Avril 2019.

[294] C. Amma, M. Georgi, 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, 2012, pp. 52–59, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ISWC.2012.21.

[295] T. Ni, D. Bowman, C. North, Airstroke : bringing unistroke text entry to freehand gesture interfaces, in : Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2011, pp. 2473–2476, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1978942.1979303.

[296] J. D. Hincapié-Ramos, X. Guo, P. Moghadasian, P. Irani, Consumed endurance : a metric to quantify arm fatigue of mid-air interactions, in : Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems, ACM, 2014, pp. 1063–1072, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557130.

[297] Y.-T. Hsieh, A. Jylhä, V. Orso, L. Gamberini, 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, ACM, 2016, pp. 4203–4215, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858436.

[298] S. B. Nesbat, A system for fast, full-text entry for small electronic devices, in : Proceedings of the 5th international conference on Multimodal interfaces, ACM, 2003, pp. 4–11, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/958432.958437.

[299] Flickkey keyboard, http://www.flickkey.com/, consulté le 14 Avril 2019.

[300] J. Kim, W. Delamare, P. Irani, Thumbtext : Text entry for wearable devices using a miniature ring, in : Proceedings of Graphics Interface, 2018, pp. 18–25.

[301] I. S. MacKenzie, R. W. Soukoreff, J. Helga, 1 thumb, 4 buttons, 20 words per minute : Design and evaluation of h4-writer, in : Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology, ACM, 2011, pp. 471–480, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2047196.2047258.

[302] B. Bajer, I. S. MacKenzie, M. Baljko, Huffman base-4 text entry glove (h4 teg), in : 2012 16th International Symposium on Wearable Computers, IEEE, 2012, pp. 41–47, DOI : http://dx.doi.org/10.1109/ISWC.2012.28.

[303] P. Isokoski, R. Raisamo, Device independent text input : A rationale and an example, in : Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, ACM, 2000, pp. 76–83, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/345513.345262.

[304] L. Hoste, B. Dumas, B. Signer, Speeg : a multimodal speech-and gesture-based text input solution, in : Proceedings of the International working conference on advanced visual interfaces, ACM, 2012, pp. 156–163, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2254556.2254585.

[305] C.-Y. Wang, W.-C. Chu, P.-T. Chiu, M.-C. Hsiu, Y.-H. Chiang, 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, ACM, 2015, pp. 153–160, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2785830.2785886.

[306] C. Yu, K. Sun, M. Zhong, X. Li, P. Zhao, 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, ACM, 2016, pp. 71–82, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858542.

[307] T. Grossman, X. A. Chen, 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, ACM, 2015, pp. 144–152, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2785830.2785867.

[308] X. Chen, T. Grossman, G. Fitzmaurice, Swipeboard : a text entry technique for ultra-small interfaces that supports novice to expert transitions, in : Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology, ACM, 2014, pp. 615–620, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2642918.2647354.

[309] S. Ahn, S. Heo, G. Lee, Typing on a smartwatch for smart glasses, in : Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, ACM, 2017, pp. 201–209, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3132272.3134136.

[310] E. Jones, J. Alexander, A. Andreou, P. Irani, S. Subramanian, Gestext : accelerometer-based gestural text-entry systems, in : Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2010, pp. 2173–2182, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753655.

[311] M. Prätorius, D. Valkov, U. Burgbacher, K. Hinrichs, Digitap : an eyes-free vr/ar symbolic input device, in : Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, ACM, 2014, pp. 9–18, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2671015.2671029.

[312] D.-Y. Huang, L. Chan, S. Yang, F. Wang, R.-H. Liang, D.-N. Yang, Y.-P. Hung, B.-Y. Chen, 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, ACM, 2016, pp. 1526–1537, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858483.

[313] F. Kuester, M. Chen, M. E. Phair, C. Mehring, Towards keyboard independent touch typing in vr, in : Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, ACM, 2005, pp. 86–95, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1101616.1101635.

[314] S. Lee, S. H. Hong, J. W. Jeon, Designing a universal keyboard using chording gloves, in : ACM SIGCAPH computers and the physically handicapped, ACM, 2003, pp. 142–147, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/960201.957230.

[315] E. Whitmire, M. Jain, D. Jain, G. Nelson, R. Karkar, S. N. Patel, M. Goel, Digitouch : Reconfigurable thumb-to-finger input and text entry on head-mounted displays, in : IMWUT, Vol. 1, 2017, pp. 113 :1–113 :21, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3130978.

[316] S. Nirjon, J. Gummeson, D. Gelb, 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, ACM, 2015, pp. 227–239, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2742647.2742665.

[317] L. Chan, R.-H. Liang, M.-C. Tsai, K.-Y. Cheng, C.-H. Su, M. Y. Chen, W.-H. Cheng, B.-Y. Chen, Fingerpad : private and subtle interaction using fingertips, in : Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology, ACM, 2013, pp. 255–260, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2501988.2502016.

[318] P. Majaranta, A. Aula, K.-J. Räihä, Effects of feedback on eye typing with a short dwell time, in : Proceedings of the 2004 symposium on Eye tracking research & applications, ACM, 2004, pp. 139–146, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/968363.968390.

[319] I. Poupyrev, N.-W. Gong, S. Fukuhara, M. E. Karagozler, C. Schwesig, K. E. Robinson, Project jacquard : interactive digital textiles at scale, in : Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2016, pp. 4216–4227, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858176.

[320] B. Zhou, J. Cheng, M. Sundholm, P. Lukowicz, From smart clothing to smart table cloth : Design and implementation of a large scale, textile pressure matrix sensor, in : International Conference on Architecture of Computing Systems, Springer, 2014, pp. 159–170, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-04891-8_14.

[321] S. Schneegass, 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, ACM, 2016, pp. 108–115, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/2971763.2971797.

[322] P. Strohmeier, J. Knibbe, S. Boring, K. Hornbæk, zpatch : Hybrid resistive/capacitive etextile input, in : Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, ACM, 2018, pp. 188–198, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/3173225.3173242.

[323] Adafruit, Ian adafruit mpr121 12-key capacitive touch sensor breakout (2018), https://learn.adafruit.com/adafruit-mpr121-12-key-capacitive-touch-sensor-breakout-tutorial/overview, consulté le 02 Février 2019.

[324] J. Rico, S. Brewster, Usable gestures for mobile interfaces : evaluating social acceptability, in : Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2010, pp. 887–896, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/1753326.1753458.

[325] I. S. MacKenzie, R. W. Soukoreff, Phrase sets for evaluating text entry techniques, in : CHI'03 extended abstracts on Human factors in computing systems, ACM, 2003, pp. 754–755, DOI : http://dx.doi.org/10.1145/765891.765971.

[326] N. Banovic, K. Yatani, K. N. Truong, Escape-keyboard : A sight-free one-handed text entry method for mobile touch-screen devices, in : International Journal of Mobile Human Computer Interaction (IJMHCI), Vol. 5, IGI Global, 2013, pp. 42–61, DOI : http://dx.doi.org/10.4018/jmhci.2013070103.

[327] I. Belkacem, I. Pecci, B. Martin, A. Faiola, Textile : Eyes-free text input on smart glasses using touch enabled textile on the forearm, in : IFIP Conference on Human-Computer Interaction, Springer, 2019, pp. 351–371, DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-29384-0_22.