

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES À FINALITÉ SPÉCIALISÉE EN SOFTWARE ENGINEERING

Vers une méthodologie d'attribution de modalités d'interaction à un utilisateur en perte d'autonomie

Kouptchinsky, François

*Award date:*  
2019

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**UNIVERSITÉ  
DE NAMUR**

---

FACULTÉ  
D'INFORMATIQUE

**Vers une méthodologie d'attribution de  
modalités d'interaction à un utilisateur en  
perte d'autonomie**

François KOUPTCHINSKY



UNIVERSITÉ DE NAMUR  
Faculté d'informatique  
Année académique 2018-2019

**Vers une méthodologie d'attribution de  
modalités d'interaction à un utilisateur en  
perte d'autonomie**

François KOUPTCHINSKY



Maître de stage : Sébastien ANNYS

Promoteur : \_\_\_\_\_ (Signature pour approbation du dépôt - REE art. 40)  
Bruno DUMAS

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de  
Master en Sciences Informatiques.



## Résumé

Depuis quelques années, le développement des outils informatiques permettant à un individu d'interagir avec son environnement est en pleine expansion. Les géants du secteur ont mis au point des assistants personnels intelligents qui permettent à un utilisateur de contrôler son environnement. D'autres acteurs de l'innovation cherchent à proposer des solutions plus modulaires à la fois en termes de fonctionnalités et de modes d'interaction pour pouvoir s'adapter à toutes les situations d'utilisation. Le cas d'un utilisateur en perte d'autonomie est particulièrement délicat, celui-ci devant faire face à une série de contraintes pour pouvoir utiliser un tel système et garder le contrôle de son environnement. Ce travail consiste en une étude conjointe des modes d'interaction et du handicap, dont l'objectif est la proposition d'une méthodologie d'attribution de modes d'interaction en fonction du handicap d'un utilisateur en perte d'autonomie.

Mots-clés : *interaction multimodale, accessibilité universelle, contraintes d'accessibilité, informatique pour les handicapés, déficiences fonctionnelles.*

## Abstract

For the last few years, the development of computer tools that allow a human to interact with his environment is on the rise. Big companies have developed smart personal assistants that allow the user to control his environment. Other innovation actors are working on more modular solutions both in terms of functionalities and interaction tools in order to adapt to the situation. The case of disabled users is particularly sensitive as they have to face many constraints to be able to use such a system and to maintain control on their environment. The present work consists in a joint study on interaction tools and impairments, which leads to the suggestion of a methodology for interaction tools attribution depending on the impairment of a disabled user.

Keywords: *multimodal interaction, universal accessibility, accessibility constraints, computer access for disabled, functional impairments.*



# Avant-propos

Avant toute chose, je souhaite remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je souhaite tout d'abord remercier mon promoteur de mémoire, M. Dumas, pour son implication, ses conseils et ses relectures tout au long de la rédaction de mon mémoire.

Ensuite, je remercie mon maître de stage, M. Annys, pour son accueil au sein de l'entreprise Home Based, son suivi et ses précieux conseils tout au long de mes recherches.

Je remercie également Mireille Stevens et Véronique Van Oppens, ergothérapeutes au CRETH, pour leurs conseils sur les références à utiliser dans une partie de mes recherches. J'aimerais aussi remercier monsieur David Servais, éducateur au centre de revalidation d'Esneux, pour son partage d'expérience en tant que référent en matière d'adaptations informatiques.

Enfin, je remercie mes parents, amis, frères et soeurs qui m'ont soutenu et encouragé en toutes circonstances tout au long de la réalisation de ce travail.



# Table des matières

<b>Avant-propos</b>	<b>3</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>8</b>
1.1 Contexte du travail et motivations . . . . .	8
1.2 Question de recherche . . . . .	8
1.3 Méthodologie de travail . . . . .	9
1.3.1 Constat de départ . . . . .	9
1.3.2 Structure du travail . . . . .	9
1.3.3 Déroulement de la recherche . . . . .	9
1.3.4 Ressources utilisées . . . . .	10
<b>2 Etat de l'art</b>	<b>11</b>
2.1 Méthodes d'évaluation des technologies d'assistance . . . . .	11
2.1.1 Modèles d'évaluation des technologies d'assistance . . . . .	11
2.1.2 Outils d'évaluation de l'accès à l'ordinateur . . . . .	13
2.1.3 Motivations du présent travail de recherche . . . . .	15
2.2 Modalités d'interaction : généralités . . . . .	16
2.2.1 Modalité, canal, et media de communication . . . . .	16
2.2.2 Canaux de réception (perception) . . . . .	18
2.2.3 Canaux d'émission (action) . . . . .	18
2.3 Concept d'accessibilité universelle . . . . .	20
2.4 Propriétés des media d'entrée . . . . .	22
2.4.1 Propriétés générales . . . . .	22
2.4.2 Dispositifs de pointage . . . . .	23
2.4.3 Switches/Contacteurs et balayage d'éléments . . . . .	24
2.4.4 Claviers mécaniques . . . . .	25
2.4.5 Microphones et reconnaissance automatique de la parole . . . . .	26
<b>3 Revue des modalités d'interaction</b>	<b>28</b>
3.1 Modalités de pointage . . . . .	30
3.1.1 Modalités de pointage standards . . . . .	30
3.1.2 Modalités de pointage adaptées . . . . .	33
3.1.3 Trackers de mouvements . . . . .	35
3.1.4 Aides logicielles et matérielles . . . . .	37
3.2 Modalités de balayage . . . . .	41
3.2.1 Aides logicielles et matérielles . . . . .	44
3.3 Modalités à sélection directe . . . . .	46
3.3.1 Aides logicielles et matérielles . . . . .	48
3.4 Reconnaissance automatique de la parole . . . . .	50
3.4.1 Aides logicielles et matérielles . . . . .	51
3.5 Constatations et critiques . . . . .	52

<b>4</b>	<b>Contraintes liées à l'utilisateur</b>	<b>53</b>
4.1	Incapacités, déficiences et leurs origines . . . . .	53
4.1.1	Conception et objectifs de la CIF . . . . .	53
4.1.2	Définition des concepts utilisés . . . . .	55
4.1.3	Etude des fonctions organiques . . . . .	56
4.1.4	Etude des activités et participations . . . . .	58
4.1.5	Lien entre déficiences et limitations d'activités . . . . .	59
4.1.6	Déficiences des fonctions organiques . . . . .	59
4.1.7	Origines des handicaps et possibilités d'évolution . . . . .	65
4.2	Besoins et désirs de l'utilisateur . . . . .	66
4.2.1	Attitudes face au handicap . . . . .	66
4.2.2	Expression des besoins et des désirs . . . . .	66
<b>5</b>	<b>Proposition d'une méthodologie d'attribution</b>	<b>67</b>
5.1	Rappel des objectifs de départ . . . . .	67
5.2	Modèle d'attribution . . . . .	69
5.2.1	Partie 1 : déficiences impactant l'utilisation du canal gestuel . . . . .	69
5.2.2	Partie 2 : déficiences liées à la voix et à la parole . . . . .	74
5.2.3	Partie 3 : déficiences sensorielles (prémices) . . . . .	75
5.3	Regard critique et justification des choix . . . . .	76
5.3.1	Conception de la grille . . . . .	76
5.3.2	Contenu de la grille . . . . .	76
<b>6</b>	<b>Perspectives des facteurs sociaux et d'environnement</b>	<b>78</b>
6.1	Contexte social de l'utilisateur . . . . .	78
6.1.1	L'entourage proche . . . . .	78
6.1.2	L'assistance professionnelle . . . . .	79
6.2	Environnement et lieu de vie . . . . .	79
<b>7</b>	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>80</b>
7.1	Réponses apportées aux questions de recherche . . . . .	80
7.2	Travaux futurs . . . . .	81
7.2.1	Modalités d'interaction . . . . .	81
7.2.2	Incapacités et déficiences . . . . .	82
7.2.3	Améliorations et validation du modèle d'attribution . . . . .	82

# Glossaire et acronymes

## Glossaire

**Canal de communication** Support sensoriel ou articuloire permettant l'émission et/ou la réception d'informations.

**Fonction de transfert** Fonction réalisant le mapping (mise en correspondance) entre les propriétés physiques perçues par un dispositif et une opération du système.

**Langage d'interaction/Système de représentation** système conventionnel structuré de signes qui assure une fonction de communication.

**Medium** Dispositif physique (device) relié à un ordinateur afin de lui permettre de capturer (media d'entrée) et d'émettre (media de sortie) de l'information.

**Méthode d'interaction** Méthode utilisée par une modalité pour interagir avec un système informatique. Sont considérées dans ce document les méthodes de pointage, balayage, sélection directe et reconnaissance automatique de la parole.

**Modalité d'interaction** Combinaison d'un dispositif physique d avec un système représentationnel r.

**Mode d'interaction** Moyen utilisé pour interagir avec un système informatique.

**Tâche** Transaction générique réalisée au moyen d'une modalité pour formaliser l'intention de l'utilisateur. Les tâches considérées dans ce document sont la navigation, la sélection et l'entrée textuelle.

**Technologie d'assistance** Tout produit, instrument, équipement ou système technique utilisé par une personne handicapée, fabriqué spécialement ou existant sur le marché, destiné à prévenir, compenser, soulager ou neutraliser la déficience, l'incapacité ou le handicap (ISO-9999, 2002).

## Acronymes

**CIF** Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé.

**RAP** Reconnaissance Automatique de la Parole.

# Chapitre 1

## Introduction

### 1.1 Contexte du travail et motivations

Home Based<sup>1</sup> est une petite SPRL namuroise active dans le secteur des technologies destinées aux personnes à mobilité réduite. La société occupe des bureaux au centre Creagora<sup>2</sup> situé à Champion, en périphérie de la capitale wallonne. Ce centre regroupe différents acteurs régionaux actifs dans les questions de santé et d'autonomie des personnes au quotidien.

C'est dans ce contexte d'innovation sociale qu'Home Based poursuit le développement et la commercialisation de Soline. Soline est un système de contrôle d'environnement qui permet à une personne en perte d'autonomie de contrôler son habitation et d'interagir avec les technologies de communication dont elle dispose (téléphones, interphones, assistance médicale,...). Le système est compatible avec une série de modes d'interaction : interrupteur classique, télécommande, tablette et smartphone, ordinateur personnel, la voix, etc. [Annys, 2016].

Dans un futur proche, Home Based compte profiter du terrain mis à disposition à côté du centre Creagora pour y installer un pavillon. Ce projet consiste à reproduire les conditions qui permettraient à une personne à mobilité réduite de conserver une autonomie optimale en y installant l'équipement adapté à ses besoins. Dans cette optique, Home Based souhaiterait disposer d'une méthodologie pour savoir quels seraient les modes d'interaction à mettre en place, compte tenu des différents facteurs influençant cette décision.

### 1.2 Question de recherche

Le besoin exprimé par Home Based peut se résumer en la question suivante : Comment pourrions-nous attribuer justement un mode d'interaction à un utilisateur en tenant compte des différentes contraintes intervenant dans la prise de décision? A elle seule, cette question pourrait faire l'objet d'un projet de recherche de plusieurs années. Il a donc été impératif d'en extraire les sous-questions suivantes qui seront traitées dans le cadre de ce travail :

1. Comment catégoriser les modes d'interaction et en structurer les informations qui permettront de justifier leur attribution ?
2. Comment aborder la problématique du handicap dans le processus d'attribution d'un mode d'interaction ?
3. Quelle méthodologie adopter pour proposer efficacement un mode d'interaction à un individu en perte d'autonomie ?

---

1. [www.home-based.eu](http://www.home-based.eu)

2. [www.mc.be/la-mc/creagora](http://www.mc.be/la-mc/creagora)

## 1.3 Méthodologie de travail

### 1.3.1 Constat de départ

Malgré la subdivision de la question de recherche générale soulevée par les besoins d'Home Based, valider la réponse apportée par ce travail aux trois sous-questions dépasse largement le cadre d'un seul travail de fin d'études. C'est pourquoi, la caractéristique principale de ce travail est son aspect **exploratoire**. La revue des modalités d'interaction et l'étude des handicaps ont donc chacune fait l'objet d'une **sélection**, une couverture exhaustive étant inenvisageable dans les temps impartis. Cette couverture se veut cependant aussi large que possible pour ouvrir un maximum de pistes.

### 1.3.2 Structure du travail

Pour répondre aux trois sous-questions faisant l'objet de la recherche, le travail a été subdivisé en 5 étapes qui sont résumées ci-dessous :

1. La rédaction d'un état de l'art dont le contenu est composé de quatre parties. La première présente quelques outils conçus pour évaluer l'accès aux technologies d'assistance pour les individus souffrant de limitations diverses. La seconde fixe les notions théoriques relatives aux modalités<sup>3</sup> d'interaction et la troisième présente le concept d'accessibilité universelle, et en particulier les contraintes d'accessibilité à une modalité. La quatrième section porte sur les propriétés des appareils employés dans le cadre des modalités d'interaction pour poser les bases de la deuxième étape.
2. La constitution d'une revue de modalités d'interaction sur base d'une sélection selon des catégories prédéfinies.
3. Une étude préliminaire des contraintes d'accessibilité, dont une partie plus détaillée sur les handicaps de l'utilisateur.
4. La proposition d'une méthodologie d'attribution permettant d'attribuer une modalité d'interaction à un individu en fonction de son handicap.
5. Une conclusion portant sur le travail effectué et les perspectives envisagées pour les travaux futurs.

### 1.3.3 Déroulement de la recherche

Dans un premier temps, une phase de prospection d'une durée d'environ un mois a été menée. Celle-ci a permis de trouver la plupart des ressources utilisées et reprises dans la bibliographie. En parallèle, une première réflexion sur la conception de la méthodologie d'attribution a permis de recalibrer et ré-orienter la recherche lorsque cela s'avérait nécessaire.

Le mois suivant a été consacré à une première étude des modalités d'interaction sur base des documents trouvés. Cette étude a permis de structurer le contenu du chapitre 3 et de rédiger l'état de l'art pour poser les concepts théoriques. Dans le même temps, un entretien au centre de revalidation d'Esneux<sup>4</sup> a permis de recueillir l'information nécessaire pour proposer une première approche de certaines contraintes d'accessibilité.

L'étape suivante a consisté à rédiger la revue des modalités d'interaction. Un entretien avec les ergothérapeutes du CRETH<sup>5</sup> a ensuite permis d'obtenir les conseils nécessaires pour mener à bien une première étude sur le handicap d'un individu.

---

3. On peut considérer "mode" et "modalité" d'interaction comme synonymes à ce niveau d'abstraction.

4. [https://www.chuliege.be/jcms/c2\\_17532934/fr/site-ourthe-ableve-esneux](https://www.chuliege.be/jcms/c2_17532934/fr/site-ourthe-ableve-esneux)

5. <http://creth.be/>

Après la constitution d'une base de connaissances initiale aussi bien pour les modalités que pour les handicaps, une première version de la méthodologie d'attribution a pu être proposée. Le travail s'est clôturé par une réflexion sur les prochains travaux à mener pour aboutir à la validation de cette méthodologie.

### 1.3.4 Ressources utilisées

Une cinquantaine de sources ont été utilisées pour collecter l'information nécessaire à la réalisation de ce travail. On peut en extraire plusieurs catégories de documents en fonction de l'étape de rédaction.

**Etat de l'art** Pour l'état de l'art, des sources abordant des concepts plus théoriques ont été utilisées. Quelques publications référencées sont antérieures à l'année 2000 mais ont tout de même été retenues pour utiliser certaines définitions des concepts qui y sont abordés. Les méthodes et outils présentés dans la première partie sont principalement repris d'une revue de littérature existante.

Quelques mots-clés utilisés dans le cadre de la recherche documentaire : *multimodal interfaces, multimodal interaction, multimodal accessibility, input devices, (computer) interaction techniques, computer access assessment, assistive technology,...*

**Revue des modalités d'interaction** Cette partie a nécessité le plus grand nombre de ressources. On distingue quatre grandes catégories de documents :

1. Les publications de recherche dans le domaine de l'interaction homme-machine. Travaux de nature plus expérimentale, orientés vers l'innovation technologique plutôt que sur l'utilisateur et ses compétences. Quelques exemples : [Huo et al., 2008], [Ward et al., 2000], [Sporka et al., 2011], [Saponas et al., 2009],...
2. Les publications de recherche toujours du domaine de l'interaction homme-machine mais qui adoptent un point de vue centré sur l'utilisateur et ses compétences. Cette catégorie d'articles consiste essentiellement en des reviews comme [Polacek et al., 2015], [Wobbrock, 2014], [Majaranta and Bulling, 2014],...
3. Les inventaires d'appareils et de techniques d'interaction constitués par le secteur médical : [Pouplin et al., 2016], [Seeberger et al., 2015]. Ces sources référencent principalement des produits commercialisés.
4. Les ouvrages de référence sur l'accès aux ordinateurs pour les personnes handicapées. Les livres [Collignon, 2003] et [Simpson, 2013] ont servi de ligne directrice tout au long de la rédaction du chapitre 3.

Quelques mots-clés utilisés dans le cadre de la recherche documentaire : *input device, disability, motor impairments, computer access for disabled/impaired, assistive technology, ability-based,...*

**Etude des contraintes d'accessibilité** Cette partie du document utilise des sources provenant du secteur de la santé, et plus particulièrement de l'information récoltée au cours d'entretiens avec les ergothérapeutes du CRETH et du centre de revalidation d'Esneux. Une source écrite essentielle pour la rédaction de cette partie est la *Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé* [OMS, 2001].

# Chapitre 2

## Etat de l'art

### 2.1 Méthodes d'évaluation des technologies d'assistance

Cette première section présente quelques travaux connexes au présent travail de recherche. Le domaine de recherche dont ils sont issus s'intitule l'*Assistive Technology Assessment*, que l'on peut traduire par *Evaluation des technologies d'assistance*. Les travaux qui y sont menés ont pour but de mettre au point un processus d'attribution de technologies d'assistance pour les personnes souffrant de tous types de limitations. Cette attribution se fait sur base d'une évaluation en fonction de différents objectifs comme la rééducation, le maintien de l'autonomie, l'aide à l'apprentissage ou au travail, etc. Les processus sont alors intégrés dans des outils suivant une certaine méthode d'utilisation (arbres de décision, questionnaires,...).

Dans un premier temps, des modèles d'évaluation pour l'attribution de technologies d'assistance en général seront abordés. Ensuite, la présentation se focalisera sur quelques outils spécifiques à l'évaluation de l'accès à l'ordinateur. L'objectif est de présenter une vision globale de la problématique de l'attribution d'une technologie d'assistance pour justifier la pertinence d'un nouveau travail de recherche pour répondre aux besoins d'Home Based.

Le contenu des sous-sections suivantes se base sur l'article *Research in Computer Access Assessment and Intervention* de R. Simpson [Simpson et al., 2010], dont une partie du contenu est reprise de la revue *Tools and Methods for Assessment in Computer Access* de H. H. Koester [Koester and LoPresti, 2008].

#### 2.1.1 Modèles d'évaluation des technologies d'assistance

Cette sous-section présente quelques modèles d'évaluation systématique pour l'attribution de technologies d'assistance. Ces modèles ciblent souvent le secteur de l'éducation et mettent très peu d'information en libre accès. Leur description sera donc succincte.

**Le framework SETT** SETT<sup>1</sup> (Student, Environment, Tasks, Tools) est un modèle constitué d'un guide permettant d'identifier les outils nécessaires à un individu en fonction de ses besoins, de son environnement, de ses caractéristiques et de ce qu'il veut faire. Ce modèle a été conçu premièrement pour les étudiants et est suffisamment général pour être incorporé à d'autres outils d'évaluation.

---

1. [www.joyzabala.com/](http://www.joyzabala.com/)

**Matching Person and Technology (MPT) assessment** Ce modèle<sup>2</sup> se base sur l'évaluation de trois éléments :

- Le milieu, c'est à dire les conditions dans lesquelles la technologie sera appliquée,
- La personne : ses caractéristiques et préférences,
- La technologie : sa conception, ses paramètres, etc.

Cette évaluation se fait sur base de questionnaires. Ce modèle vise principalement les adultes mais une deuxième version intitulée "Matching Assistive Technology and Child (MATCH)" a été mise au point pour les enfants.



Source: Institute for Matching Person & Technology, 1995

FIGURE 2.1 – *Elements évalués au sein du modèle MPT*

**Education Tech Points** Ce modèle<sup>3</sup> cible en particulier les familles et les individus impliqués dans l'éducation. Les "Points" sont au nombre de sept :

1. Considération et référence
2. Evaluation
3. Période d'essai
4. Développement d'un plan
5. Implémentation
6. Reconsidération périodique
7. Transition

Le modèle propose aussi des conseils pour le développement et l'amélioration des technologies d'assistance au sein des infrastructures de l'éducation.

2. [www.matchingpersonandtechnology.com](http://www.matchingpersonandtechnology.com)

3. [www.educationtechpoints.org](http://www.educationtechpoints.org)

## 2.1.2 Outils d'évaluation de l'accès à l'ordinateur

Cette sous-section présente quelques outils d'évaluation centrés sur l'accès à l'ordinateur. Ces outils prennent la forme de livres, de guides ou de programmes logiciels.

**Alternative Computer Access : A Guide to Selection [Anson, 1997]** Ce livre présente une série d'arbres de décision dont le parcours permet de réaliser le processus d'évaluation. Les questions posées permettent d'évaluer les aptitudes motrices, sensorielles et cognitives liées à l'utilisation du clavier, de la souris et des dispositifs de pointage alternatifs. Chaque chapitre présente un type de technologie d'assistance et des études de cas.

Bien que le livre ne soit plus édité, l'article *Pruning a Decision Tree for Selecting Computer-Related Assistive Devices for People With Disabilities* de Chia-Fen Chi [Chi et al., 2012] illustre l'arbre de décision proposé par Anson avec la table de décision qui lui est associée.

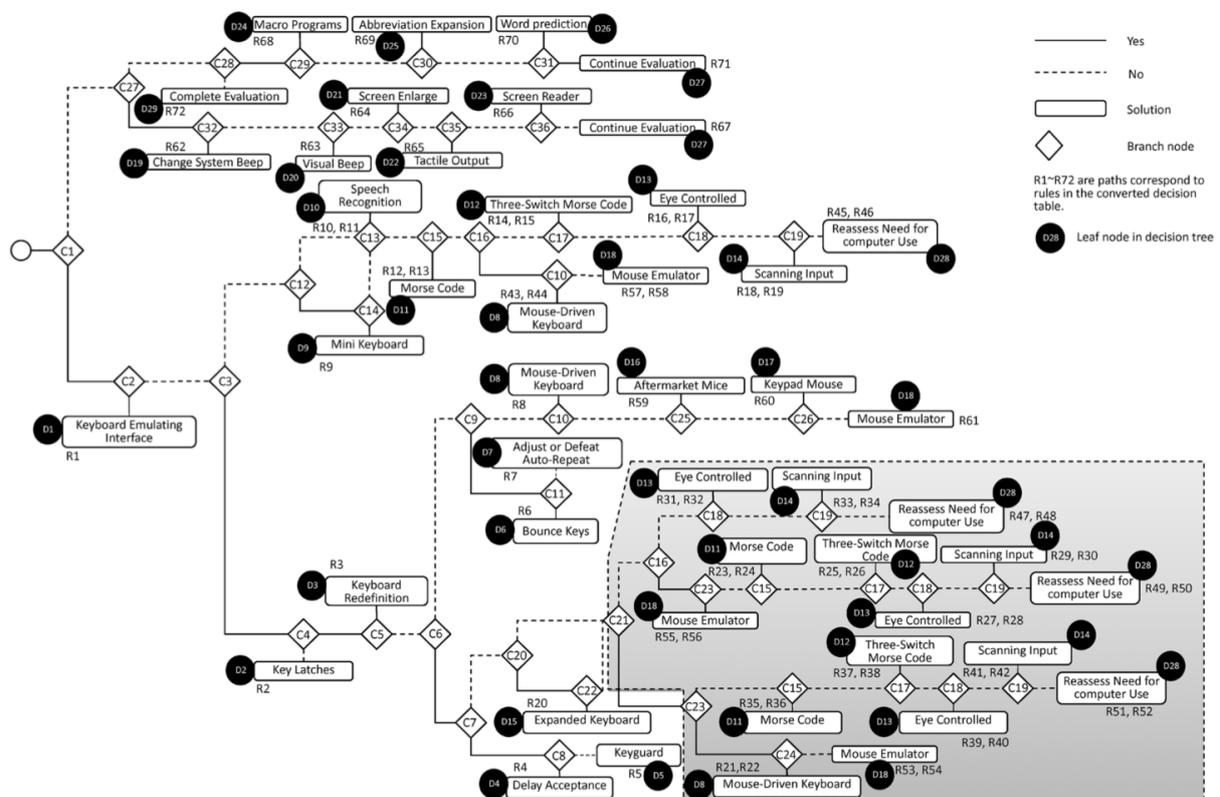


FIGURE 2.2 – Arbre de décision établi sur base de celui d'Anson [Chi et al., 2012]

**Lifespace Access Profile** Il s'agit d'un outil<sup>4</sup> à destination d'une équipe d'évaluateurs pour évaluer les aptitudes d'un utilisateur au travers de cinq domaines :

- Aptitudes physiques : santé générale, vue, ouïe, posture, coordination, amplitude de mouvement, etc.
- Aptitudes cognitives : compréhension des causes et effets, communication, etc.
- Aptitudes émotionnelles : capacité d'attention, tolérance au changement,...
- Support disponible : famille, professionnels,...
- Etude de l'environnement : le domicile, l'école ou le lieu de travail,...

4. [www.dinf.ne.jp/doc/english/Us\\_Eu/conf/csun\\_98/csun98\\_172.html](http://www.dinf.ne.jp/doc/english/Us_Eu/conf/csun_98/csun98_172.html)

Types of Device	C1-C36 are the conditions of evaluation	R (Path corresponds to rules)																				
		R1	R2	R3	R51	R52	R53	R59	R60	R61	R62	R63	R64	R65	R66	R67	R68	R69	R70	R71	R72	
	C1 Does the client have limitations to physical access to the computer?	Y	Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
Alphanumeric Device	C2 Does the client's keyboard require an external interface?	Y	N	N	-	N	N	N	N	-	N	N	N	N	N							
	C3 Is the client able to reach all keys of the standard keyboard?		Y	Y	-	Y	Y	Y	Y	Y												
	C4 Is the client able to press more than one key at a time?		N	Y	-	Y	Y	Y	Y	Y												
	C5 Would the client benefit from an alternative keyboard pattern?			Y	-	N	N	N	N	N	N											
	C6 Does the client have frequent accidental keystrokes?				-	Y	Y	Y	N	N	N											
	C7 Is the client able to stroke a single key on demand?				-	N	N	N	N													
	C8 Does the client release accidentally struck keys quickly?																					
	C9 Does the client produce frequent unintended multiple characters?																					
	C10 Is the client able to use mouse effectively?																					
	C11 Does the client bounce on desired keys with resulting multiple keystrokes?																					
	C12 Can the client reach all of the keys of a mini keyboard?																					
	C13 Does the client have consistent speech with good breath support?																					
	C14 Can the client accurately activate the small keys?																					
	C15 Does client have learning capacity and ability to respond in timed patterns?																					
	C16 Can the client control and use a pointing system (excluding eyes)?																					
	C17 Does client have learning capacity and ability to use three switches?																					
	C18 Does the client have consistent eye control?																					
	C19 Does the client have at least one reliable motor site?																					
	C20 Can the client reach all keys of an expanded keyboard?																					
	C21 Does client have sufficient pacing skills and memory for encoded entry?																					
C22 Can the client accurately strike the larger keys?																						
C23 Does the client require mouse movement in addition to text entry?																						
C24 Is client able to use a conventional mouse or alternative effectively?																						
Pointing Device	C25 Is the client able to use an alternative, commercial mouse?																					
	C26 Is the client able to use a standard or alternative multikey keypad?																					
	C27 Does the client have sensory limitation that interfere with computer access?																					
	C28 Does the client have performance limits that interfere with computer access?																					
Enhancement Device	C29 Would the client benefit from automated computer functions?																					
	C30 Can the client member sequences of codes?																					
	C31 Does client have good split attention and significant limitations in endurance?																					
Sensory Device	C32 Does the client have partial hearing loss or reduced acuity?																					
	C33 Does the client have complete hearing loss or work in a noisy environment?																					
	C34 Is the client able to read enlarged text but not standard-sized text?																					
	C35 Does the client read Braille and/or have good tactile discrimination?																					
	C36 Does the client understand machine-generated speech?																					
Mapping action= D1-D29, (Suggested Device=D1-D26)		1	2	3	28	28	18	16	17	18	19	20	21	22	23	27	24	25	26	27	29	
		Alphanumeric Device					Pointing Device			Sensory Device					Enhancement Device							
		First type of unreachable condition					Second type of unreachable condition															

FIGURE 2.3 – Table de décision déduite de l'arbre de décision d'Anson [Chi et al., 2012]

Pour chacun de ces domaines, les membres de l'équipe d'évaluateurs attribuent une note entre 1 et 10 sur base de critères standardisés.

A l'origine l'outil était destiné à des individus souffrant de troubles multiples dont des troubles cognitifs. Par la suite, une version pour les utilisateurs ne devant pas faire l'objet d'une évaluation des compétences cognitives a été proposée.

L'évaluation se faisait dans un premier temps avec des formulaires en papier. Un logiciel a par la suite été développé pour automatiser certains aspects du processus. Bien que les tests et mesures des capacités et limitations soient toujours manuels, l'enregistrement des résultats permet de faciliter la mise à jour des données et le suivi de l'évolution.

**Assessment of Computer Task Performance** Cet outil fournit un ensemble de tests et de critères de mesures standardisés. Les compétences évaluées sont celles de l'utilisation d'un clavier, d'un dispositif de pointage et les actions combinées (par exemple le déplacement du curseur lors d'un clic pour déplacer une cible). Les tests sont réalisés en plaçant des transparents sur un écran d'ordinateur, par exemple en indiquant un chemin que l'utilisateur doit suivre avec le curseur.

Le succès des tâches peut être mesuré par une échelle à 4 niveaux spécifiques à chaque tâche. Le temps mis pour leur réalisation peut être aussi un facteur d'évaluation. Tous les détails concernant les évaluations sont répertoriés dans un manuel d'utilisation<sup>5</sup>.

5. [www.irdpq.qc.ca/sites/default/files/assessmentcomputertaskperformance\\_irdpq.pdf](http://www.irdpq.qc.ca/sites/default/files/assessmentcomputertaskperformance_irdpq.pdf)

**Compass** Le logiciel *Compass* a été développé par l'équipe de recherche *Koester Performance Research*<sup>6</sup>. Il fournit une série d'activités d'évaluation pour l'accès à l'ordinateur et peut aussi être utilisé pour évaluer l'accès aux appareils de Communication Améliorée et Alternative (CAA).

Les compétences évaluées sont celles relatives à l'utilisation du clavier et de la souris, à la navigation dans les menus mais aussi à la navigation par balayage au moyen d'un contacteur (switch). Les tests à effectuer sont sélectionnés en fonction des besoins d'évaluation chez l'utilisateur. Le logiciel propose aussi une aide à l'interprétation des données relatives à la vitesse et la précision recueillies au cours des tests.

**Assistive Technology Decision Tree** Il y a une vingtaine d'années, la société Unum<sup>7</sup>, dont une partie de l'activité consiste à venir en aide aux familles et travailleurs en difficulté suite à un accident ou une maladie, proposait un guide<sup>8</sup> permettant d'évaluer l'application des solutions de technologies d'assistance. La méthode utilisée prend la forme d'un arbre de décision menant à une série de propositions d'assistances technologiques. Malgré son âge, ce guide reste d'actualité moyennant quelques légères adaptations et un enrichissement de contenu.

Les six étapes d'évaluation proposées sont les suivantes :

1. Définir le problème en terme de limitation de tâche à réaliser. Le problème n'est pas le handicap en lui-même mais ses conséquences sur le travail effectué, à savoir les limitations induites par le handicap. Dans le cas du syndrome du canal carpien par exemple, le problème n'est pas la douleur ressentie dans le poignet et la main mais l'incapacité de réaliser des tâches manuelles prolongées.
2. Se demander comment la réalisation de la tâche peut être modifiée. Les technologies d'assistance ne sont pas toujours la solution de premier recours.
3. Etudier l'environnement dans lequel la tâche est réalisée pour savoir si celui-ci peut être modifié (diminution du stress, du bruit, etc.).
4. Rechercher un éventuel équipement matériel ou logiciel utilisé sur le lieu de travail ou au domicile pouvant être adapté à la situation. Une fois le besoin d'une telle assistance technique avéré, il faut s'assurer que la solution n'est pas déjà présente.
5. Rechercher une solution dans le commerce.
6. Tenter de créer ou de modifier une solution déjà existante pour l'adapter au problème rencontré. Cette dernière étape n'est à envisager que si aucune solution commerciale ne convient.

### 2.1.3 Motivations du présent travail de recherche

Les objectifs d'utilisation des travaux présentés jusqu'ici divergent avec ceux qui découlent des besoins d'Home Based. En effet, l'entreprise désire disposer d'un outil évolutif, pouvant être facilement mis à jour et utilisé quelle que soit la situation de handicap ou le public ciblé. Or, on remarque que la plupart des méthodes et frameworks se focalisent sur un public particulier (travailleurs, étudiants,...) ou manquent de souplesse d'utilisation (marche à suivre étape par étape, arbre de décision déterministe dont le contenu est difficilement évolutif,...).

---

6. [www.kpronline.com](http://www.kpronline.com)

7. [www.unum.com](http://www.unum.com)

8. [www.amacusg.gatech.edu/wiki/images/5/56/AT\\_decision\\_tree.pdf](http://www.amacusg.gatech.edu/wiki/images/5/56/AT_decision_tree.pdf)

Un autre aspect sur lequel Home Based insiste est la couverture des modes d'interaction. Aucun des outils présentés dans cette section n'est utilisé conjointement à une base de connaissances complète en la matière. Cet aspect va de pair avec le besoin d'évolutivité, le domaine des technologies d'assistance étant en constante évolution.

De plus, les outils trouvés au cours des recherches datent en moyenne d'une vingtaine d'année. Les solutions proposées ou leur utilisation peuvent donc ne plus s'avérer pertinentes dans certains cas.

## 2.2 Modalités d'interaction : généralités

### 2.2.1 Modalité, canal, et media de communication

Avant toute chose, il est essentiel de fixer les concepts clés qui seront utilisés dans la suite de cette section. Comme le fait remarquer [Ratzka, 2013], la communauté scientifique ne s'accorde pas toujours sur la portée sémantique de *modalité*, et des confusions existent entre les notions de *modalité*, *canal* et *media*, qui sont même parfois employés comme des synonymes. Voici une définition de *modalité* reprise par [Schomaker et al., 1995] :

**Definition 2.2.1.** Modalité (1) *Perception par l'un des trois canaux de communication suivants : visuel, auditif et tactile*

Chacun de ces 3 canaux implique donc un sens défini par la physiologie, à savoir la vue, l'ouïe et le toucher. Il existe 3 autres sens qui sont l'odorat, le goût et le sens de l'équilibre, mais dont les modalités correspondantes ne sont pas encore réellement exploitées à ce jour, à l'exception faite de l'équilibre pour la réalité virtuelle.

Telle que définie ci-dessus, la notion de modalité semble exclusivement perceptive, impliquant uniquement la réception d'informations. Pourtant, [Schomaker et al., 1995] cite une autre définition du concept de modalité moins restrictive :

**Definition 2.2.2.** Modalité d'interaction (2) *Type de canal de communication utilisé pour émettre ou recevoir de l'information. Couvre aussi la manière dont une idée est exprimée ou perçue ou dont une action est réalisée*

En plus de l'idée de perception, d'acquisition d'informations via nos sens, on retrouve celle d'action, de transmission d'information. Bien que plus complète, cette définition manque de formalisme et est exclusivement orientée vers l'utilisateur sans considérer le système.

On observe dans la littérature que la perspective abordée pour l'emploi du terme *modalité* peut être centrée sur l'humain (ses canaux de communication), sur l'ordinateur (ses dispositifs d'entrée/sortie), voire les deux. [Nigay and Coutaz, 1996] adopte cette dernière vision en proposant d'associer les capacités humaines aux outils technologiques avec la définition suivante :

**Definition 2.2.3.** Modalité d'interaction (3) *Combinaison d'un dispositif physique  $d$  avec un système représentationnel  $r$ .*

C'est cette définition de *modalité* qui sera retenue dans ce travail car elle permet de conserver une certaine dichotomie entre les capacités humaines et les outils technologiques tout en les associant l'un à l'autre. [Nigay and Coutaz, 1995] prend également la liberté d'assimiler le terme *modalité* à celui de *technique d'interaction*. Les deux dénominations pourront donc être trouvées dans la suite de ce document.

Le système de représentation  $r$  est aussi appelé *langage d'interaction*, dont la définition est la suivante, toujours selon [Nigay and Coutaz, 1996] :

**Definition 2.2.4.** Langage d'interaction/Système de représentation *Système conventionnel structuré de signes qui assure une fonction de communication*

Un langage d'interaction est acquis par l'utilisateur grâce à ses capacités cognitives et ses canaux de communication. Son objectif est de permettre l'expression des informations par un utilisateur pour qu'elles puissent être perçues et ensuite interprétées par le système et inversement.

Le concept de *Canal de communication* est lui aussi ambigu. Dans ce document, on l'utilisera pour représenter les *aspects sensoriels et articulatoires de l'échange d'informations* [Ratzka, 2013]. Les canaux de communications considérés sont répartis en deux catégories :

- Canaux de réception : visuel, auditif, olfactif, tactile
- Canaux d'émission : parole, système moteur, respiration, signaux bio-électriques

Les termes *réception* et *émission* sont ici relatifs à l'homme et non à la machine.

Enfin, le concept de *Medium* (singulier de *media*) doit également être fixé. Il s'agira ici des dispositifs (ou *devices* en anglais) physiques d'entrée et de sortie d'un ordinateur. Ces deux notions correspondent respectivement aux canaux de réception et d'émission de la machine, et donc au  $d$  de la définition de *modalité* retenue.

On peut mettre en relation les concepts détaillés ci-dessus sur base de la boucle de l'interaction multi-modale proposée par [Dumas et al., 2009] :

- Prise de décision : l'utilisateur se prépare (consciemment ou non) à émettre de l'information dans le système
- Réalisation d'action : l'utilisateur sélectionne et fait l'usage d'un canal de communication pour émettre un message
- Capture de l'information : le système réceptionne le message au travers d'un ou de plusieurs dispositif(s) physique(s) (media d'entrée)
- Interprétation et calcul : le système rassemble les informations pour les interpréter et en préparer la réponse
- Rendu : le système utilise un ou plusieurs dispositif(s) physique(s) (media de sortie) pour émettre cette réponse
- Perception : l'utilisateur sélectionne et fait l'usage d'un canal de communication pour recevoir le message
- Interprétation : l'utilisateur interprète le message avec ses facultés cognitives

Nous n'aborderons pas dans ce document les concepts de fission et fusion multi-modales, ceux-ci n'entrant pas dans le cadre de la question de recherche.

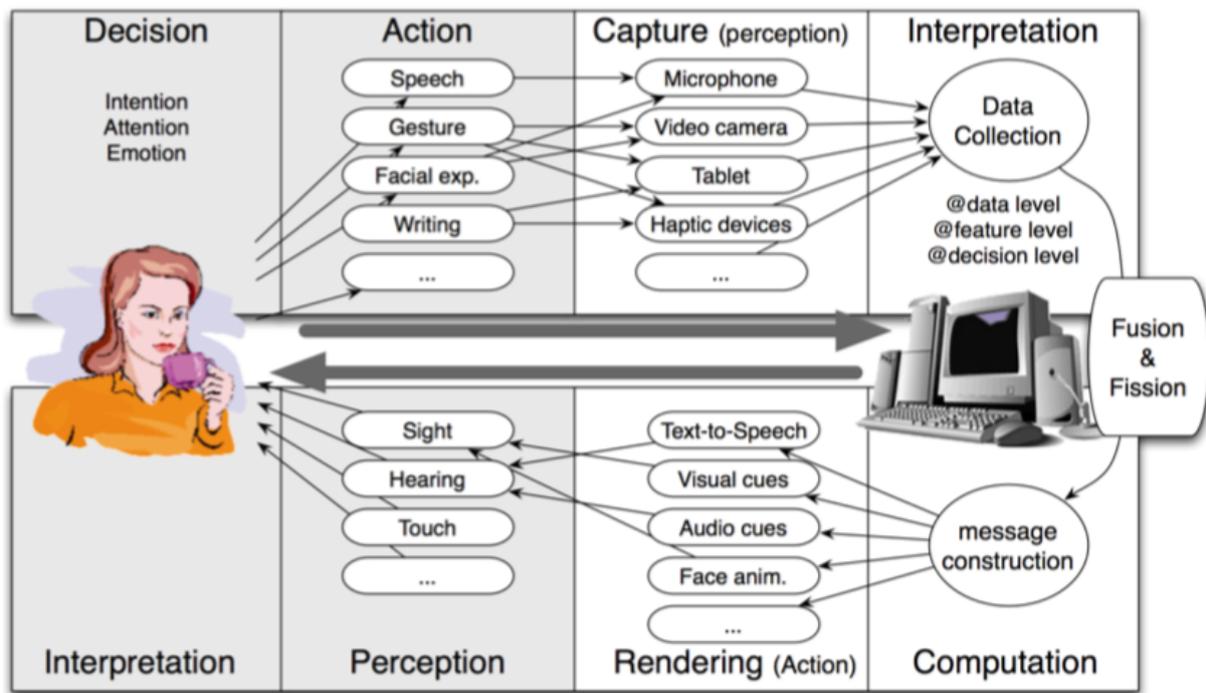


FIGURE 2.4 – Une représentation de la boucle d'interaction homme-machine multimodale - [Dumas et al., 2009]

### 2.2.2 Canaux de réception (perception)

Cette sous-section a pour objectif de présenter les canaux de réception d'information d'un être humain. On peut les catégoriser selon ses capacités sensorielles, à savoir les cinq sens physiologiques. Les capacités sensorielles considérées ici sont donc la **vision**, l'**audition** et le **tactile**. Elles peuvent être subdivisées en plusieurs sous-canaux, comme le pitch, le timbre et l'intensité pour l'audition. Ceux relatifs au tactile peuvent être classés en deux grandes catégories :

**Le sens somatique** D'après la définition du dictionnaire *Sensagent* du *Parisien*<sup>9</sup>, il s'agit du *système sensoriel qui transmet les sensations de pression, de chaleur, de vibration, de position, de mouvement, de douleur (etc.)*. On retrouve donc dans cette définition plusieurs notions de perception relatives au toucher.

**La kinesthésie** Il s'agit de la *perception consciente de la position ou des mouvements des différentes parties du corps*<sup>10</sup>. On y retrouve les angles des articulations, l'extension et la tension musculaire, l'orientation des membres, leur position, les mouvements de la tête, etc.

### 2.2.3 Canaux d'émission (action)

Les canaux d'émission de l'être humain lui permettent de communiquer de l'information en mettant en oeuvre toute capacité motrice et cognitive qu'il a à sa disposition. Là encore on peut subdiviser chaque canal en plusieurs sous-canaux. Les plus pertinents pour l'interaction avec un ordinateur seront abordés.

9. <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/SENS%20SOMATIQUE/fr-fr/>

10. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/kinesth%C3%A9sique/45562>

**La voix** Ce canal de communication permet à un utilisateur de transmettre oralement de l'information à un ordinateur. On peut distinguer deux sous-canaux à exploiter [Hinckley et al., 2014] :

- **La parole** : les ordinateurs sont aujourd'hui capables de traiter l'information reçue par la parole. Cependant, la fiabilité de ce canal dépend beaucoup de la complexité de la grammaire et du vocabulaire utilisés, mais aussi de facteurs techniques comme la qualité du microphone. Un moyen d'atténuer l'impact de la problématique liée au langage est de restreindre les commandes à un sous-ensemble du langage naturel. La parole traduit souvent une commande discrète à un ordinateur (sauver un document, éteindre la lumière,...) et est moins adaptée pour les activités continues (zoom, déplacement,...).
- **Les autres sons** : l'expression de sonorités non linguistiques peut être mieux adaptée pour des activités nécessitant une transmission d'informations continue. On peut alors jouer sur la durée du son, l'intonation, le timbre, etc.

Ce canal est particulièrement adapté lorsque l'utilisateur n'a pas la possibilité ou la capacité de se servir de ses autres canaux de communication. De plus, son interactivité et son intuitivité facilitent son utilisation.

**Le geste** Le geste est un canal d'interaction puissant qui peut prendre la forme d'une manipulation en deux dimensions sur une surface tactile ou de déplacements dans l'espace en trois dimensions. Il est réalisé par le système moteur qui comprend entre autres les contractions musculaires, mouvements, pressions, rotations, etc. des membres. L'exploitation des gestes a beaucoup évolué au cours des dernières années. Plusieurs taxonomies de gestes sont reprises par [Hinckley et al., 2014] dont la suivante :

- *sémiotiques* : communiquent de l'information (ex. les pouces vers le haut)
  - *ergotiques* : manipulent des objets physiques (par exemple les dispositifs transducteurs <sup>11</sup>) pour la transmission d'informations
  - *épistémiques* : explorations tactile et haptique pour acquérir de l'information
- [Schomaker et al., 1995] reprend une autre classification pouvant être considérée comme une subdivision des gestes sémiotiques :
- *symboliques* : gestes conventionnels, expressions non ambiguës (ex. symbole "peace")
  - *déictiques* : pointent des entités
  - *iconiques* : illustrent des relations et actions entre objets
  - *pantomimiques* : miment l'utilisation d'un outil

Il est important de souligner que les gestes peuvent impliquer les mouvements de tous les membres du corps (les mains, les bras, la tête, les jambes,...).

**Le regard** Bien qu'utilisé principalement dans le cas de réception d'information, le sens de la vue implique l'utilisation de muscles extraoculaires qui peuvent être utilisés pour émettre des informations vers un système. Ceci se fait à l'aide d'un dispositif qui va suivre les yeux de l'utilisateur dont le rôle sera de servir de dispositif de pointage.

Cependant, l'interprétation du regard est compliquée étant donné sa sensibilité et le manque de contrôle de son propriétaire (mélanges de regards intentionnels et non intentionnels). De plus, l'utilisation du regard fatigue beaucoup l'utilisateur qui ne peut donc s'en servir de manière prolongée. À cause de ces inconvénients, le regard s'avère peu efficace pour sélectionner des éléments. Son utilisation sera donc souvent limitée aux cas extrêmes d'handicaps neurologiques.

**Les signaux bio-électriques** Ce sont les courants électriques émis par les êtres vivants. Il en existe plusieurs catégories qui peuvent chacune être utilisée pour transmettre de l'information [Schmidt, 2015] :

---

11. permettent la conversion d'un signal physique en un autre type de signal

- L'électromyographie (EMG) : signaux électriques générés par l'activité musculaire. Souvent utilisés en cas d'invalidité des membres supérieurs ou de tétraplégie avec le contrôle des muscles de la tête.
- L'électroencéphalogramme (EEG) : ondes cérébrales mesurées dans le cadre des *Brain Computer Interfaces (BCI)*, principalement pour des utilisateurs souffrant de sévères troubles neuromusculaires.
- L'électrocardiogramme (ECG) : signaux électriques issus de l'activité cardiaque. Permet de mesurer le pouls et ses variations.
- L'électro-oculogramme (EOG) : signaux électriques émis par le changement du potentiel cornéo-rétinien suite au mouvement des yeux.
- La réponse cutanée galvanique (GSR) : technique permettant de mesurer l'intensité de l'état émotionnel de l'utilisateur.

L'utilisation d'électrodes collés sur la peau permet de mesurer ces signaux électriques.

## 2.3 Concept d'accessibilité universelle

Depuis quelques années, la communauté scientifique cherche à concevoir des systèmes prenant en compte les besoins particuliers de différents groupes d'utilisateurs pour les rendre accessibles à un plus grand nombre. Cette problématique s'articule autour des domaines de recherche d'*accessibilité universelle* et de *conception universelle/inclusive*, qui sont étroitement liés à celui de la conception d'interfaces multi-modales.

Afin de faire la jonction entre ces deux domaines d'étude, [Obrenovic et al., 2007] présente un framework conceptuel d'unification abordant ces aspects d'abord de manière globale, puis en proposant un modèle formel dont le but est de permettre une analyse situationnelle complète.

Premièrement, le problème de l'accessibilité est abordé sous une vue générale pour illustrer les relations entre les modalités, leurs contraintes d'utilisation et les capacités humaines impliquées. Le terme *effects* désigne ici les effets produits au cours de l'utilisation d'une modalité d'interaction.

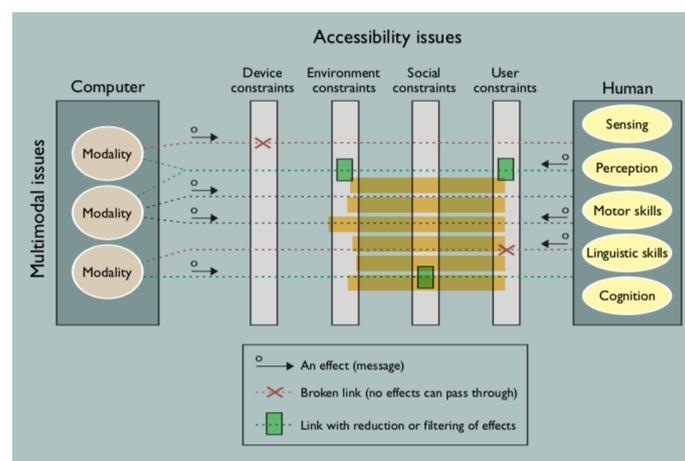


FIGURE 2.5 – *Modalités, contraintes et effets.* Les ordinateurs et les humains établissent divers canaux de communication sur lesquels ils échangent des messages avec des effets associés. Les modalités traitent ou produisent ces effets, tandis que diverses contraintes d'interaction réduisent ou éliminent complètement certains de ces effets. - [Obrenovic et al., 2007]

Les contraintes d'accessibilité sont divisées en quatre catégories :

- **Contraintes de l'utilisateur** : d'une part, les **déficiences** qui limitent l'exploitation de ses capacités pour produire les effets nécessaires à l'utilisation d'une modalité. D'autre part, ses **besoins, désirs et préférences**.
- **Contraintes du dispositif physique** : les **caractéristiques d'utilisation** d'un dispositif déterminent les effets à produire par les capacités de l'utilisateur.
- **Contraintes d'environnement** : les influences de l'environnement sur l'utilisation d'une modalité
- **Contraintes sociales** : facteurs relatifs à l'entourage de l'utilisateur (individus présents lors de l'utilisation de la modalité et susceptibles d'y interférer).

On peut remarquer des similitudes de présentation et de contenu entre la figure 2.5 et la figure 2.4. On y retrouve la volonté d'associer les modalités d'interactions avec les capacités humaines intervenant dans leur utilisation. [Dumas et al., 2009] présente l'interaction sous un aspect plus dynamique en faisant circuler les flux d'information entre les modalités et les canaux de communication de l'homme. [Obrenovic et al., 2007] met en évidence les problèmes d'accessibilité susceptibles de se produire lors de l'exploitation d'une modalité par une capacité humaine.

Ensuite, le framework présente une vue plus conceptuelle en proposant une modélisation formelle des principes de l'interaction multimodale. Celle-ci comprend aussi les contraintes abordées dans la vue générale présentée ci-dessus. Le modèle est conçu de telle sorte à permettre une définition flexible pour chaque type de contraintes.

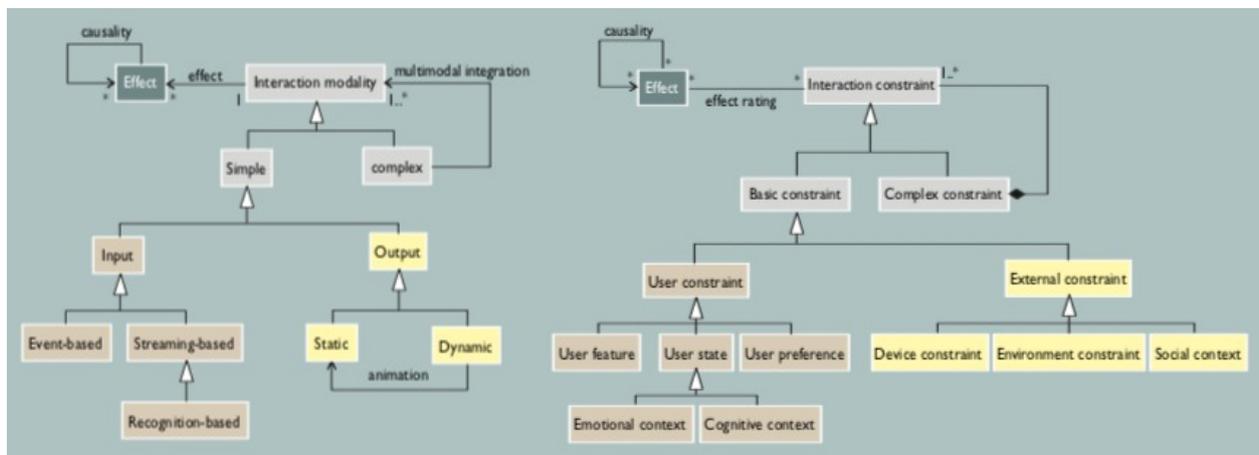


FIGURE 2.6 – *Simplified model of computing modalities and interaction constraints.* - [Obrenovic et al., 2007]

Les entités du modèle utilisées pour connecter les modalités aux contraintes sont les *effects*, déjà présentés plus haut. Le framework subdivise ces effets en 5 catégories :

- **Sensoriels** : traitement des stimuli par les récepteurs sensoriels (vue, ouïe, toucher)
- **Perceptuels** : analyse des informations recueillies par les récepteurs sensoriels (reconnaissance de forme, de modèles,...)
- **Moteurs** : Actions mécaniques (mouvement de la main, pression, etc.)
- **Linguistiques** : Ecriture, parole, lecture
- **Cognitifs** : mémoire, attention, fatigue mentale,...

On remarque que l'on peut associer chaque canal de communication présenté en 2.2.2 à un effet sensoriel, et chaque canal du point et 2.2.3 à un effet moteur ou linguistique.

Avec les informations répertoriées dans ce modèle, on pourrait donc se permettre d’attribuer une ou plusieurs modalité(s) adaptée(s) à une situation particulière déduite sur base d’une analyse des contraintes répertoriées ci-dessus. En mettant en place un bon formalisme pour les descriptions d’interfaces multi-modales et leurs contraintes d’accessibilité, il serait possible de développer des outils permettant d’adapter l’accès à un système en fonction d’une situation donnée. L’objectif est, à terme, de développer des solutions d’interaction pouvant être adaptées en fonction de ces contraintes.

Le but de ce travail n’est pas d’utiliser le framework ou de compléter le modèle, mais bien de s’appuyer sur ses concepts en abordant chaque contrainte (certaines de manière plus détaillée) en vue d’établir une méthodologie d’attribution. Les chapitres 3 et 4 de ce document porteront respectivement sur les contraintes relatives à l’utilisation des media d’interaction et celles induites par les déficiences des capacités de l’utilisateur. Le chapitre 6 posera les bases de réflexion concernant les contraintes d’environnement et du contexte social.

## 2.4 Propriétés des media d’entrée

### 2.4.1 Propriétés générales

Connaitre les propriétés des appareils permettant d’interagir avec un ordinateur va permettre de mieux cerner les contextes et exigences d’utilisation. Certaines d’entre elles qui seront utilisées par la suite sont présentées ci-dessous d’après [Hinckley et al., 2014]. Ce document se base lui-même sur plusieurs sources.

**Propriétés physiques perçues** Trois propriétés physiques peuvent être perçues par les media d’entrée : la **position**, le **mouvement** et la **force**. Les dispositifs sensibles à la position (par exemple certains joysticks) peuvent retranscrire le mouvement en calculant les changements de position. Ceux sensibles aux mouvements comme la souris ne peuvent que simuler la position à l’aide d’un curseur sur un écran.

**Type de contrôle** Un dispositif d’entrée peut aussi être catégorisé selon le type de contrôle qu’il offre à l’utilisateur :

- **Contrôle direct** : la surface d’affichage sert aussi de surface de contrôle (ex. les écrans tactiles)
- **Contrôle indirect** : distinction entre le contrôle du dispositif et l’affichage des informations (ex. la souris)

**Fonction de transfert** Cette fonction réalise un mapping (mise en correspondance) entre les propriétés physiques captées par le dispositif et l’opération réalisée par le système. Elle peut être exprimée de manière générale comme ci-dessous ou être plus détaillée au niveau des activités réalisées. Quelques exemples de fonctions de transfert :

- Position du dispositif physique  $\rightarrow$  position d’un objet virtuel
- Pression d’un bouton  $\rightarrow$  entrée d’un caractère
- Force exercée sur le dispositif  $\rightarrow$  vitesse d’un déplacement d’un objet virtuel
- Vitesse du mouvement d’un dispositif  $\rightarrow$  vitesse du mouvement d’un curseur. Un exemple d’implémentation est le *Control-Display Gain*, coefficient entre la vitesse de l’objet virtuel et celle captée par le dispositif physique qui le contrôle.

**Tâches réalisées** La notion de *tâche* réalisée au moyen d'une modalité est ambiguë. On peut considérer une tâche soit comme étant une finalité de la modalité (ex. déplacer une image, écrire un texte,...) soit comme un moyen mis en oeuvre par la modalité (ou par une aide logicielle/matérielle) pour parvenir à une fin (ex. effectuer une sélection combinée à un mouvement du curseur *pour* déplacer une image, etc.). C'est cette dernière vision qui sera retenue pour la définition de *tâche* dans ce travail.

Pour formaliser cette approche, [Buxton et al., 2009] a repris les 6 transactions génériques présentées par ses collègues Foley, Wallace et Chan qui ont pour but de formaliser l'intention de l'utilisateur. Ces 6 transactions sont les suivantes :

- La **sélection**
- Le positionnement et l'orientation, qui seront regroupés sous la tâche de **navigation** dans ce document
- Le dessin, qui ne sera pas abordé ici
- L'entrée textuelle et l'entrée d'une valeur scalaire, regroupées en **entrée textuelle**.

## 2.4.2 Dispositifs de pointage

Les dispositifs de pointage sont une catégorie de media d'entrée transmettant des coordonnées spatiales à l'ordinateur pour permettre les tâches de **navigation** et de **sélection en contrôlant un curseur**. La tâche d'**entrée textuelle** peut être réalisée si nécessaire en associant la navigation et la sélection avec une aide logicielle prévue à cet effet. Certaines propriétés des media d'interaction sont spécifiques aux dispositifs de pointage et sont reprises ci-dessous.

**Vitesse et précision** La performance des dispositifs de pointage est généralement caractérisée par la *loi de Fitts* [M. Fitts, 1954]. Cette loi s'appuie sur 3 caractéristiques : le temps mis pour désigner une cible, l'amplitude du mouvement (la distance entre le point de départ et la cible) et la largeur de la cible. La performance d'utilisation peut être optimisée en adaptant l'interface ou avec une aide logicielle ou matérielle.

**Etats du medium** Un dispositif de pointage doit pouvoir prendre différents états afin de permettre à l'utilisateur de réaliser la navigation et la sélection. [Buxton et al., 2009] a généralisé ces états nécessaires avec son *three-state model of input* qui reprend les états suivants :

- *tracking* : permet le mouvement du curseur (navigation)
- *dragging* : permet la sélection des cibles et leur déplacement
- *out of range* : état dans lequel le dispositif se situe lorsqu'il a été hors de sa zone de tracking (par exemple une souris retournée)

Certains media ne peuvent pas physiquement prendre les trois états. Il faut donc parfois simuler les états manquants (ex. le clic sur le touchpad peut être simulé en tapant dessus).

**Dynamique de contrôle** On peut catégoriser un dispositif de pointage selon les propriétés physiques qu'il perçoit [Simpson, 2013] :

- Dispositifs de **contrôle d'ordre zéro** : leur utilisation produit une variation de la **position** du curseur. Une position constante du dispositif implique donc une position constante du curseur (ex. Souris, trackpad, écran tactile). Ils impliquent souvent l'utilisation de mouvements plus importants et de plus grande amplitude.
- Dispositifs de **contrôle de premier ordre** : leur utilisation produit une variation de la **vitesse** du curseur. Une position constante du dispositif implique donc une vitesse constante du curseur (ex. joystick).

**Résistance** Il y a 3 types de résistance possible pour un dispositif [Tsandilas, 2014] :

- **Isotonique** : Le dispositif n'émet pas de résistance lors de sa manipulation (ex. souris, trackpad, trackers de mouvements,...). Approprié pour les dispositifs d'ordre zéro.
- **Isométrique** : Le dispositif émet une résistance lors de son utilisation pour revenir à une position d'origine une fois sa manipulation terminée. Approprié pour les dispositifs de premier ordre.
- **Elastique** : comme **isométrique** mais dont la résistance augmente avec le mouvement (ex. certains joysticks, trackpoint,...).

### 2.4.3 Switches/Contacteurs et balayage d'éléments

Les *contacteurs* ou *commutateurs* (*switches* en anglais) sont une catégorie de media d'entrée principalement utilisés pour communiquer avec un système en utilisant la **méthode d'interaction par balayage**. Cette méthode consiste à parcourir séquentiellement jusqu'à sélectionner les éléments (en audio ou en images) en activant le contacteur. Ainsi, les tâches de **navigation** et de **sélection** sont toutes deux mises en oeuvre dans cette méthode d'interaction. De même, l'**entrée textuelle** peut être réalisée via l'association de ces deux tâches.

**Techniques de balayage et applications** Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour le parcours séquentiel des éléments. Celles-ci sont présentées par Pierre Rousseau dans son état de l'art sur les techniques d'interactions pour personnes lourdement handicapées. Il y référence aussi une série d'applications et de bibliothèques utilisant ces techniques [Rousseau, 2017, p. 50-57] .

Un contacteur est un dispositif émettant un signal binaire en ouvrant ou refermant le flux de courant électrique. Son utilisation suffit pour un accès complet à un système disposant d'une interface utilisant une méthode d'interaction par balayage. Les propriétés des contacteurs sont présentées ci-dessous d'après [Simpson, 2013].

**Type d'input** Plusieurs types d'input peuvent être envisagés pour l'utilisation d'un contacteur :

- La pression physique (par le geste de la main, du pied, de la tête)
- La pression de l'air (par le souffle)
- L'inclinaison
- La proximité (par des capteurs)
- Le clignement oculaire
- L'activité musculaire (utilisation d'une partie du corps ou d'un muscle spécifique)
- L'émission sonore (par la voix)

Il va de soi que le choix du type d'input et donc du contacteur en lui-même sera effectué en fonction des capacités motrices de l'utilisateur.

**Sensibilité** Les contacteurs les plus sensibles nécessitent très peu de force ou réagissent immédiatement et sont plus susceptibles d'être activés par inadvertance.

**Propriétés physiques** Un contacteur possède 4 propriétés physiques essentielles :

- **La taille** : les contacteurs plus larges sont mieux adaptés aux parties du corps plus larges et aux mouvements moins précis. Cependant, ils peuvent nécessiter plus de force pour être activés.
- **L'apparence** (distinction visuelle) : la couleur, le label, les dessins ;
- **La texture** ou la matière (distinction tactile) ;

- La **position**, l'**emplacement** et l'**orientation** du dispositif. Doivent être idéalement adaptés en fonction des capacités motrices de l'utilisateur. Pour ce faire, des aides matérielles peuvent être nécessaires et seront présentées au chapitre suivant.

Ces propriétés vont influencer l'efficacité de l'utilisation d'un switch par rapport aux capacités de l'utilisateur.

**Confirmation d'action** Un feedback peut être émis par le système ou le contacteur pour confirmer l'action effectuée par l'utilisateur. Ce feedback peut être visuel (changement de couleur, éclairage), tactile (déformation, déplacement) ou auditif (clic ou autre son).

**Transparence fonctionnelle** Idéalement, un contacteur devrait indiquer par ses **propriétés physiques** la ou les **fonctionnalité(s)** qu'il permet d'exécuter. Par exemple, 4 switches disposés en diamant explicitent un contrôle directionnel "haut-bas-gauche-droite" du curseur. Cette transparence peut varier en fonction des capacités de l'utilisateur à déduire et comprendre le rôle du contacteur.

**Interfaces d'accessibilité** La plupart des contacteurs nécessitent une interface matérielle pour pouvoir être utilisés avec un ordinateur. Ces interfaces sont semblables à des switches USB mais proposent un nombre variable d'entrées "jack". Elles sont connectées par USB ou bluetooth et peuvent permettre d'émuler un mode d'interaction comme le déplacement d'un curseur, la pression d'une touche de clavier, etc. Une telle interface doit pouvoir fournir les fonctionnalités attendues par l'application logicielle utilisée.

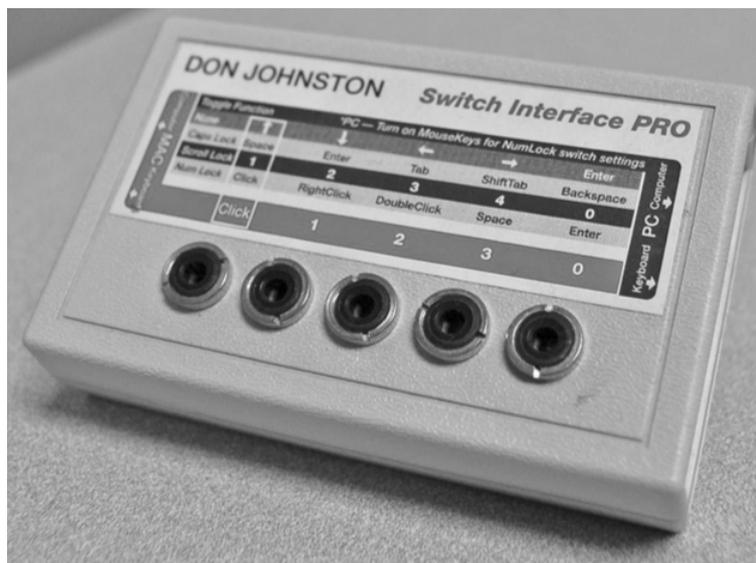


FIGURE 2.7 – *Switch interfaces for the computer* - [Simpson, 2013]

## 2.4.4 Claviers mécaniques

Les claviers mécaniques sont des dispositifs d'entrée à **sélection directe**. Cette technique d'interaction permet à l'utilisateur de choisir l'entrée désirée (lettre, chiffre, ponctuation,...) sans devoir effectuer une série d'actions intermédiaires avec le dispositif (comme c'est le cas pour les méthodes de balayage et de pointage). Un clavier mécanique permet donc d'effectuer la tâche d'**entrée textuelle** sans devoir forcément passer par la **navigation** et la **sélection**, bien que des touches directionnelles ou de confirmation existent pour réaliser ces deux tâches.

**Catégories de claviers** [Polacek et al., 2015] considère trois catégories de claviers à sélection directe. Ceux-ci sont également présentés et illustrés par Pierre Rousseau [Rousseau, 2017] sur base de la même source.

- **Clavier simultané** : sélection d'un caractère par appui simultané sur plusieurs touches. Permet de réduire le nombre de touches mais nécessite un temps d'apprentissage plus long.
- **Clavier ambigu** : clavier où plusieurs caractères sont associés à une seule touche (souvent utilisé sur les téléphones portables).
- **Clavier à encodage** : chaque caractère est associé à une combinaison de touches. Par exemple un clavier à deux touches peut utiliser un encodage en Morse.

**Propriétés des touches** De manière générale, les propriétés des touches d'un clavier sont sensiblement identiques à celles des contacteurs. On retrouve la sensibilité, le feedback émis, la transparence fonctionnelle et les mêmes propriétés physiques (taille, apparence et texture).

**Propriétés des claviers** Les claviers possèdent aussi des propriétés n'étant pas directement liées à leurs touches, toujours d'après [Simpson, 2013] :

- **Transférabilité** : capacité d'un clavier à permettre l'application, lors de l'utilisation d'autres dispositifs, des compétences d'interaction qu'il exige. Par exemple, un clavier AZERTY classique possède une meilleure transférabilité qu'un clavier au format unique. Une bonne transférabilité signifie un temps d'apprentissage réduit mais une configuration physique moins adaptable.
- **Affordance** : la configuration physique du clavier doit permettre à l'utilisateur de comprendre la manière dont il doit s'en servir et quelles sont les fonctionnalités offertes.
- **Modes de fonctionnement** : les claviers en proposent généralement plusieurs, comme le fait d'écrire en minuscule ou en majuscule. Dans ce cas-ci, le changement de mode s'effectue en combinant la touche "shift" avec la lettre. Un plus grand nombre de modes de fonctionnement complique l'utilisation du clavier mais permet de réduire le nombre de touches et/ou leur agrandissement.
- **Taille du clavier** : les claviers de petite taille sont physiquement moins encombrant, tout en possédant des touches de taille classique pour un usage digital. Ils conviennent mieux pour un usage à une main voir à un doigt et pour les mouvements limités. Cette réduction de taille se fait au prix d'une réduction de touches et donc de fonctionnalités. Celles-ci sont alors comblées par l'ajout de modes de fonctionnement.

#### 2.4.5 Microphones et reconnaissance automatique de la parole

Les microphones sont les dispositifs d'entrée qui sont utilisés dans le cas des modalités de reconnaissance automatique de la parole. Les tâches de **sélection** et de **navigation** sont réalisées par *commandes vocales* et l'**entrée textuelle** par *dictée vocale*.

La *Reconnaissance Automatique de la Parole (RAP)* exprime l'analyse de la voix humaine en vue d'en extraire un texte ou des instructions compréhensibles pour l'ordinateur. Ce processus est différent de la *reconnaissance vocale*, méthode d'identification par la voix, dont l'appellation est souvent utilisée à tort pour exprimer la RAP.

Les propriétés présentées ci-dessous, toujours d'après [Simpson, 2013], portent d'abord sur la RAP en général et ensuite sur les dispositifs physiques.

**Commandes et dictée vocales** Deux types d'opérations peuvent être traitées par un logiciel de RAP :

- **Commandes vocales** : utilisent un dictionnaire de mots et de phrases réduit. Le but est de faire exécuter une action correspondant à l'injonction orale par le système. On retrouve 4 catégories de commandes : les mots correspondant à un caractère particulier lors d'une dictée vocale (ponctuation, date,...), les mots d'édition de document (insertion, suppression, copiage,...), les actions du système (lancement d'application, sélection dans un menu, contrôle du curseur,...) et les commandes relatives à l'utilisation du logiciel RAP lui-même (microphone on/off, correction d'erreurs,...).
- **Dictée vocale** : nécessite un dictionnaire de mots beaucoup plus important. Le but est de capturer les mots et de les retranscrire dans le système sous forme textuelle. Un logiciel de dictée vocale permet souvent d'exécuter aussi des commandes vocales.

**Méthode discrète ou continue** Il existe deux méthodes de traitement d'information pour un logiciel RAP :

- **Méthode discrète** : l'utilisateur doit faire une pause entre chaque mot envoyé au système. C'est la méthode la plus ancienne mais toujours utilisée pour des applications de commandes vocales. Certains logiciels destinés à des utilisateurs dysarthriques ou atteints d'autres troubles du langage l'utilisent également.
- **Méthode continue** : l'utilisateur peut parler comme lors d'une conversation normale. Cette méthode est utilisée pour les dictées vocales.

**Circonstances d'utilisation** La reconnaissance automatique de la parole permet d'interagir avec un ordinateur sans devoir faire usage des membres supérieurs ou inférieurs. Cette méthode d'interaction est aussi moins fatigante et peut être utilisée quelle que soit la posture de l'utilisateur (assis ou couché). L'utilisateur doit être capable d'articuler normalement et de parler à un volume normal. L'utilisation de la RAP peut aussi être plus efficace qu'un dispositif de pointage, de balayage ou de sélection directe en fonction des incapacités motrices.

**Limites d'utilisation** Bien que la RAP semble être une méthode d'interaction idéale, elle possède aussi ses limites :

- La navigation et la correction d'erreurs dans les actions effectuées ou la dictée vocale prennent plus de temps qu'avec les autres méthodes d'interaction.
- La transmission d'informations sensibles peut être inadaptée à être effectuée oralement (l'entrée d'un mot de passe par exemple).
- Les erreurs lors de la dictée vocale sont souvent plus compliquées à détecter que lors de la saisie au clavier.

**Propriétés des microphones** Les microphones possèdent certaines propriétés qu'il est important de prendre en compte dans le cas de la RAP :

- **Directivité** : sensibilité du microphone selon la provenance du son. Celle-ci peut être unidirectionnelle (ou **cardioïde**), le micro capte alors le son ne provenant que d'un seul côté, bi-directionnelle ou **omnidirectionnelle**.
- **Sensibilité** : un micro plus sensible pourra capturer des sons plus faibles ou émis à plus longue distance.
- Capacité d'**abstraction du bruit** : traitement des sons parasites captés.
- Système de **fixation, emplacement** (intégré à un laptop, posé sur une table, fixé sur un pied, accroché au vêtement ou à un casque).

# Chapitre 3

## Revue des modalités d'interaction

Ce chapitre a pour but de constituer un inventaire de départ des modalités d'interaction qui sera subdivisé comme suit :

- Modalités de pointage (manipulation d'un curseur)
- Modalités de balayage (utilisation de contacteurs)
- Modalités à sélection directe (claviers mécaniques)
- Reconnaissance automatique de la parole (microphones)

Ces modalités ont été répertoriées selon la méthode d'interaction qu'elles proposent intuitivement. Cette approche se base sur la structure du document [Simpson, 2013] et permet de reprendre les mêmes catégories d'éléments logiciels et matériels que celles utilisées par [Polacek et al., 2015] et [Kotzé et al., 2004] dans leur étude.

Cependant, il faut garder à l'esprit que ces méthodes peuvent se mélanger parmi les modalités. Par exemple, de l'entrée textuelle peut se faire au moyen d'un dispositif de pointage, ou une manipulation de curseur avec des contacteurs ou la reconnaissance automatique de la parole. Ces "exceptions" seront alors présentées dans la sous-section adéquate.

Une sélection dans le choix des modalités à présenter a été réalisée pour orienter la recherche selon les objectifs du travail. Le but étant à terme d'attribuer ces modalités à un utilisateur en perte d'autonomie, celles-ci devaient permettre de pallier des incapacités motrices ou sensorielles et donc d'être axées sur l'**accessibilité** au système.

C'est pourquoi, les modalités expérimentales issues de récentes recherches scientifiques ne sont que peu abordées. Leur objectif d'accessibilité n'est pas toujours clairement défini et les preuves de leur efficacité sont souvent trop limitées pour pouvoir tirer de solides conclusions par rapport à leur utilité.

Dans un souci d'utilité pratique, la plus grande partie des modalités présentées sont celles ayant abouti à une commercialisation qui est toujours d'actualité. Celle-ci se fait en général soit dans le secteur de la santé soit pour le grand public. Le secteur de la santé est souvent plus onéreux mais propose un meilleur support d'installation et d'utilisation. Des modalités étant toujours au stade de la recherche (médicale ou technologique) mais permettant de pallier efficacement certaines contraintes d'accessibilité sont aussi présentées.

Ce chapitre aborde aussi les aides logicielles et matérielles à l'utilisation d'une modalité. A nouveau, la plupart sont commercialisées (ou en libre distribution pour certains logiciels) et d'autres sont encore au stade de la recherche. Ces aides ont pour but de réduire les effets négatifs induits par les incapacités de l'utilisateur et qui l'empêchent d'utiliser efficacement une modalité. Les claviers virtuels sont également considérés comme des aides logicielles, mais dont

le but est d'aider à la réalisation de la tâche d'entrée textuelle par d'autres méthodes que la sélection directe.

Pour décrire les modalités de la manière la plus complète et concise possible, la décision a été prise d'associer les notions de *système de représentation*, de *tâche* et de *fonction de transfert*. En effet, On peut décomposer le système de représentation d'une modalité suivant les tâches réalisées lors de son utilisation. Ces tâches peuvent être détaillées avec une fonction de transfert.

Les informations sont présentées sous forme de tableaux tenant sur un format A4 pour rester lisibles et structurés. Ceux-ci ont été conçu dans le but de mettre en relation les fonctions motrices impliquées dans l'utilisation des modalités présentées avec les incapacités corrigées par les aides logicielles et matérielles.

Outre les sites internet spécialisés mentionnés dans les tableaux, certaines revues de littérature et compilations de dispositifs ont particulièrement contribué à la complétion de ce chapitre et sont reprises ci-dessous :

- Aides pour les modalités de pointage : [Wobbrock, 2014], [Simpson, 2013]
- Contacteurs : [Ntoa et al., 2014], [Seeberger et al., 2015]
- Souris et claviers : [abi, 2019]
- Tâche d'entrée textuelle, claviers physiques et virtuels : [Polacek et al., 2015]

## 3.1 Modalités de pointage

### 3.1.1 Modalités de pointage standards

Modalité		Fonctions motrices impliquées	Remarques éventuelles sur l'utilisation
Dispositif physique et propriétés	Système de représentation de base /Fonction de transfert		
Souris : Isotonique Pointage indirect et relatif - contrôle de position (ordre zéro)	NAVIGATION Déplacement physique du dispositif sur une surface plane --> Déplacement linéaire du curseur	Capacité de préhension : pouvoir saisir le dispositif dans sa main et le relâcher dans une position précise  Contrôle musculaire des membres supérieurs : pouvoir réaliser des mouvements maîtrisés sur une longue distance selon une trajectoire déterminée	Nécessite une surface plane suffisamment grande pour y déplacer physiquement le dispositif Capacités cognitives permettant d'intégrer la notion de causalité entre le déplacement du dispositif sur l'axe horizontal et celui du curseur sur l'axe vertical
	SELECTION Immobilisation du dispositif et pression du doigt sur un bouton pousser --> Sélection d'une cible par le curseur	Stabilisation des membres supérieurs : pouvoir stabiliser les mouvements pour positionner le curseur sur une cible  Contrôle musculaire du doigt : Maîtriser le mouvement du doigt combiné à la stabilisation du dispositif pour effectuer la pression attendue sur le bouton. + Pas de pressions non intentionnelles	La SELECTION peut être compromise par un mouvement involontaire sur le dispositif

<p>Trackball : Isotonique Pointage indirect et relatif - contrôle de position ex. Souris inversée de Kensington, mini trackball RING [www.kensington.com] [Collignon, 2003]</p>	<p>NAVIGATION Déplacement rotationnel d'une boule autour d'un axe fixe --&gt; Déplacement linéaire du curseur SELECTION Pression d'un membre sur un bouton poussoir --&gt; Sélection d'une cible par le curseur</p>	<p>Contrôle musculaire des membres utilisés pour déplacer la boule : (dos de la) main, bras, doigts ou jambe + cheville</p>	<p>Pratique en cas d'amplitude de mouvement réduite ou de manque d'espace</p>
<p>Trackpad/Touchpad : Isotonique Pointage indirect et relatif - contrôle de position ex. touchpad de laptop, Magic Trackpad d'Apple [www.apple.com]</p>	<p>NAVIGATION Déplacement linéaire d'un doigt sur la surface tactile du dispositif --&gt; Déplacement linéaire du curseur SELECTION Pression d'un doigt sur un bouton à proximité ou sur la surface tactile --&gt; Sélection d'une cible par le curseur</p>	<p>Contrôle musculaire des doigts et du poignet : Pouvoir faire preuve d'une bonne liberté de mouvement et d'une motricité fine au niveau des doigts et du poignet</p>	<p>Pas de remarque</p>
<p>Souris à touches : Pointage indirect et relatif ex. Souris à touches de Gorlo et Todt [www.gorlo-todt.de], télécommande manuelle BJOY HAND [www.domodep.com]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Pression d'un doigt sur une touche --&gt; Déplacement linéaire du curseur/ Sélection d'une cible par le curseur</p>	<p>Stabilisation des mouvements du doigt et du poignet pour positionner le curseur Contraction du doigt et flexion du poignet pour effectuer la pression sur le bouton</p>	<p>Pas de remarque</p>
		<p>Stabilisation des mouvements du bras et du poignet pour manipuler l'appareil Contraction du doigt et flexion du poignet pour effectuer la pression sur une touche</p>	<p>Pratique en cas de mouvements non contrôlés (spasticité, tremblements) et de faiblesse musculaire de la main et/ou des doigts</p>

<p>Joystick : Isotonique</p> <p>Pointage indirect et relatif - contrôle de position ou Elastique/Isométrique</p> <p>Pointage indirect et relatif - contrôle de vitesse (premier ordre) ex. trackpoint d'ordinateur, joystick de jeu vidéo</p> <p>Manuel ex. le SAM Joystick de RJCooper [store.rjcooper.com] [Collignon, 2003]</p> <p>ou Digital ex. RollerPlus Joystick de HMC [www.hmc-nv.be] [Collignon, 2003]</p>	<p>NAVIGATION (Isotonique) Inclinaison du joystick depuis sa position centrale --&gt;</p> <p>Déplacement du curseur suivant la direction de l'inclinaison et de vitesse proportionnelle au déplacement du manche du joystick</p> <p>NAVIGATION (Isométrique) Force exercée sur le manche du joystick --&gt;</p> <p>Déplacement du curseur dans la direction appliquée et de vitesse proportionnelle à la force</p> <p>SELECTION Pression du doigt sur un bouton pousser situé sur le joystick ou sur son socle --&gt;</p> <p>Sélection d'une cible par le curseur</p> <p>NAVIGATION/SELECTION Gestes tactiles sur l'écran : glissement pour la navigation, pression pour la sélection --&gt;</p> <p>Mise à jour de l'interface en fonction des gestes réalisés</p>	<p>(Facultative) Capacité de préhension : pouvoir saisir le dispositif dans sa main</p> <p>Contrôle musculaire du bras et du poignet : pouvoir faire preuve d'une bonne coordination et amplitude de mouvements pour manipuler un joystick manuel ou Contrôle musculaire des doigts : motricité fine pour manipuler un joystick digital</p> <p>Stabilisation des membres supérieurs : pouvoir stabiliser les mouvements pour positionner le curseur sur une cible</p> <p>Contrôle musculaire des doigts : pouvoir maîtriser le mouvement du doigt qui permet d'effectuer la pression sur le bouton de sélection du joystick</p> <p>(Facultative) Capacité de préhension : pouvoir saisir le dispositif dans sa main</p> <p>Contrôle musculaire des doigts : pouvoir faire preuve de motricité fine et de souplesse dans les articulations des doigts pour maîtriser leur mouvement sur l'écran</p>	<p>L'orientation du curseur doit parfois être ajustée en fonction des capacités de mouvement du bras, du poignet ou du doigt [Turpin et al., 2005]</p> <p>L'axe rigide permet d'atténuer les effets de tremblements involontaires</p> <p>Certains joysticks permettent la programmation de leurs boutons pour réaliser des actions de sélection variées comme le SAM Joystick</p> <p>Adapté en cas de déficience cognitive empêchant de comprendre le lien entre le mouvement d'un dispositif de pointage et celui du curseur à l'écran</p>
---	--	--	---

### 3.1.2 Modalités de pointage adaptées

Modalité		Fonctions motrices impliquées	Remarques éventuelles sur l'utilisation
Dispositif physique et propriétés	Système de représentation de base /Fonction de transfert		
Souris pour pieds : Isotonique Pointage indirect et relatif - contrôle de position ex. BiLiPro Foottime Foot Mouse [www.bilipro.com] [Velloso et al.]	NAVIGATION Déplacement physique du dispositif sur le sol --> Déplacement linéaire du curseur	Contrôle musculaire des membres inférieurs : pouvoir déplacer un pied sur une surface plane suivant une trajectoire déterminée	Pratique en cas d'invalidité totale des membres supérieurs Exige une bonne amplitude de mouvement de la jambe utilisée
	SELECTION Immobilisation du dispositif de déplacement et pression d'un pied sur un bouton --> Sélection d'une cible par le curseur		
Joystick pour pieds : Isotonique Pointage indirect et relatif - contrôle de vitesse ex. No Hands Mouse [www.fentek-ind.com] [Velloso et al.]	NAVIGATION Inclinaison physique de la pédale utilisée comme joystick --> Déplacement du curseur dans la direction de l'inclinaison de la pédale et de vitesse proportionnelle à l'inclinaison	Contrôle musculaire des membres inférieurs : pouvoir effectuer un mouvement de flexion de la cheville en contrôlant la direction et l'intensité du mouvement	Pratique en cas d'impossibilité de déplacement du pied sur la surface du sol
	SELECTION Inclinaison physique de la pédale utilisée comme sélecteur ou Pression du pied sur un bouton --> Sélection d'une cible par le curseur		
		Contrôle musculaire des membres inférieurs : pouvoir effectuer un mouvement de flexion de la cheville sur le bouton ou la pédale de sélection	Pas de remarque

<p>Souris pour la bouche :          Isométrique          Pointage indirect et relatif -          contrôle de vitesse          ex. Integramouse+          [www.integramouse.com]          [Collignon, 2003]          LipStick          [www.shannonelectronics.nl]</p>	<p><b>NAVIGATION</b>          Déplacement du bec du dispositif par rapport à son axe fixe          --&gt;          Déplacement du curseur</p> <p><b>SELECTION</b>          Expiration ou Inspiration dans le bec (Integramouse et Lipstick) ou mouvement de la lèvre inférieure ou supérieure (Lipstick)          --&gt;          Sélection d'une cible par le curseur</p>	<p>Contrôle des mouvements de la tête (des mouvements minimaux suffisent) et de l'ouverture de la bouche pour exercer une pression dirigée sur le bec</p> <p>Bouche disposée à accueillir le bec</p> <p>Maitrise du souffle et de la respiration</p>	<p>Permet un déplacement très précis du curseur avec un ajustement de la force à appliquer</p> <p>Inadapté en cas de problèmes respiratoires, de toux ou de problèmes buccaux</p>
<p>Joystick pour le menton :          Isométrique/élastique          Pointage indirect et relatif -          contrôle de vitesse          ex. Bjoy Chin [www.bjliveat.com]</p>	<p><b>DEPLACEMENT</b>          Mouvement de la tête et du cou          --&gt;          Déplacement du curseur</p> <p><b>SELECTION</b>          Pression du menton sur l'un des boutons poussoirs          --&gt;          Sélection d'une cible par le curseur</p>	<p>Contrôle musculaire des mouvements de la tête et du cou</p>	<p>Adapté en cas de lésions cérébrales, SEP, ALS et autre désordre neuromusculaire</p> <p>Dispose de boutons programmables</p>

### 3.1.3 Trackers de mouvements

Modalité		Fonctions motrices impliquées	Remarques éventuelles sur l'utilisation
Dispositif physique et propriétés	Système de représentation de base / Fonction de transfert		
<p>Tracker de tête infrarouge ex. systèmes commercialisés : [Collignon, 2003], SmartNav [www.naturalpoint.com], Headmouse [www.orin.com] Travaux de recherche : [AL-RAHAYFEH and Faezipour, 2013]</p>	<p>NAVIGATION Variation de l'orientation de la tête --&gt; Déplacement du curseur selon le mouvement d'une gommelette capté par le dispositif</p>	<p>Rotation, flexion et extension du cou De légers mouvements peuvent suffire La posture physique doit rester stable</p>	<p>Généralement adapté pour les SLA, dystrophiques musculaires, para ou tétraplégiques et les individus amputés. SELECTION avec un logiciel de clic automatique ou une aide matérielle Sensible à la lumière ambiante</p>
<p>Tracker de tête par lunettes bluetooth ex. systèmes commercialisés Glassouse Head Worn Mouse [glassouse.com]</p>	<p>NAVIGATION Variation de l'orientation de la tête --&gt; Déplacement du curseur selon le mouvement d'un émetteur bluetooth accroché aux lunettes</p> <p>SELECTION Aide matérielle accrochée aux lunettes (clic par morsure pour la Glassouse) --&gt; Sélection d'une cible par le curseur</p>	<p>Contrôle du mouvement de la mâchoire (Glassouse), d'un autre muscle pour une autre aide matérielle</p>	<p>Généralement adapté pour les SLA, dystrophiques musculaires, para ou tétraplégiques et les individus amputés. Les lunettes ne doivent pas glisser de leur position initiale</p> <p>SELECTION alternative avec un logiciel de clic automatique ou une autre aide matérielle que celle accrochée de base aux lunettes</p>

<p>Généralement adaptés pour les SLA, myopathies, amyotrophies spinales, locked in syndrome, tétraplégiques,... Sensibles à la lumière ambiante Plus onéreux que le tracker de tête, plus compliqués et fatigant à contrôler.</p>	<p>Contrôle des muscles oculaires pour effectuer la rotation des globes oculaires, mouvements volontaires (saccades) La posture physique doit rester stable (trackers vidéo) ainsi que la tête</p>	<p>NAVIGATION Variation de la direction du regard --&gt; Déplacement du curseur</p>	<p>Tracker du regard infrarouge et vidéo ex. systèmes commercialisés : Tobii PCEye[www.tobiidynavox.com], Tobii Pro Glasses 2 [www.tobipro.com] ex. travaux de recherches : EagleEyes [ofoa.net/eagleeyes/] [AL-RAHAYFEH and Faezipour, 2013]</p>
<p>SELECTION alternative avec un logiciel de clic automatique ou une autre aide matérielle</p>	<p>Contrôle du clignement des yeux ou Contrôle de l'immobilisation du regard</p>	<p>SELECTION Clignement de l'oeil ou Fixation du regard un certain temps (dwell time) --&gt; Sélection d'une cible par le curseur</p>	<p>Tracker de la langue Travaux de recherche (médical) ex. Tongue Drive [Huo et al.], Prototype par capteurs optiques [Saponas et al., 2009]</p>
<p>Le contrôle de la langue est rarement affecté dans les maladies neuromusculaires. Il est moins fatiguant et plus intuitif que celui du regard. Dispositif utilisable dans beaucoup de postures, dont l'allongement sur un lit</p>	<p>Contrôle musculaire de la langue</p>	<p>NAVIGATION, SELECTION Mouvements de la langue dans la cavité buccale --&gt; Déplacement du curseur et sélection de cibles selon un traceur magnétique fixé sur la langue, suivi par une série de capteurs magnétiques placés sur un dispositif intra (appareil orthodontique) ou extra (casque) buccal</p>	

### 3.1.4 Aides logicielles et matérielles

Aides logicielles	Objectif d'utilisation	Tâche concernée	Dispositifs concernés	Handicaps moteurs concernés
Augmenter le Control-Display Gain (> 1) voir les paramètres de l'OS	Augmenter la vitesse du curseur par rapport à celle du déplacement exercé sur le dispositif de pointage	NAVIGATION	Tous les dispositifs de pointage	Amplitude de mouvement réduite Mauvais contrôle de trajectoire du mouvement Faiblesse musculaire
Réduire le Control-Display Gain (< 1) voir les paramètres de l'OS	Réduire la vitesse du curseur par rapport à celle du déplacement exercé sur le dispositif de pointage			Mauvaise motricité fine, mouvements imprécis Mauvais contrôle de la trajectoire ou de la direction du mouvement
Réduire la distance qui sépare le curseur de la cible (cf. Loi de Fitts)	Réduction de la résolution de l'écran en augmentant la taille des pixels. On réduit ainsi les possibilités de mouvements à plus grande amplitude.	NAVIGATION Positionner le curseur sur une cible	Tous les dispositifs de pointage	Amplitude de mouvement réduite, Mauvais contrôle de trajectoire du mouvement Faiblesse musculaire
PointAssist Logiciel en libre distribution (licence GNU/GPL) [Hourcade et al., 2008] [Wobbrock, 2014]	Programme qui adapte automatiquement le control-display gain en fonction des mouvements exercés sur le dispositif de pointage pour faciliter le positionnement du curseur sur une cible	NAVIGATION Positionner le curseur sur une cible	Tous les dispositifs de pointage	
Angle Mouse Logiciel en libre distribution (licence BSD) [Wobbrock et al., 2009]	Programme qui adapte le control-display gain en continu en fonction des déviations d'angles dans le déplacement du curseur pour faciliter son positionnement sur une cible Logiciel tiers ou intégré au système d'exploitation qui déplace automatiquement le curseur sur le bouton sélectionné par défaut dans une fenêtre ou boîte de dialogue ("Ok", "Cancel", ...)	NAVIGATION Positionner le curseur sur une cible	Souris, trackball, joystick, trackpad, autre ?	cf. Augmenter/Réduire le control-display gain
Logiciel "Snap to" [Simpson, 2013]		NAVIGATION Positionner le curseur sur une cible		

<p>Pointing Magnifier Logiciel en libre distribution (licence BSD) [Findlater et al., 2010] [Wobbrock, 2014]</p>	<p>A la suite d'un clic de l'utilisateur, ce logiciel amplifie (zoom sur) la zone concernée par le clic selon un périmètre défini au préalable pour agrandir la cible. Permet une navigation et une sélection plus précises dans la zone amplifiée.</p>	<p>NAVIGATION Positionner le curseur sur une cible</p>	<p>Souris, trackball, joystick, trackpad</p>	<p>Mauvaise motricité fine, mouvements imprécis Mauvais contrôle de la trajectoire ou de la direction du mouvement</p>
<p>Curseur "Click-and-Cross" Stade de recherche [Findlater et al., 2010]</p>	<p>Suite au clic, le logiciel associe les cibles potentielles situées dans un périmètre prédéfini autour du curseur à des arcs. L'utilisateur n'a ensuite plus qu'à traverser l'arc correspondant à la cible visée.</p>			
<p>Curseur "Visual-Motor Magnifier" Stade de recherche [Findlater et al., 2010]</p>	<p>Suite au clic, le logiciel amplifie (zoom sur) la zone concernée par le clic selon un périmètre défini au préalable ainsi que toutes les cibles qui s'y trouvent, selon un certain facteur d'amplification. L'utilisateur n'a ensuite qu'à positionner le curseur sur la cible de son choix, en conservant le même control-display gain.</p>			
<p>Activer le ClickLock [Simpson, 2013] voir les paramètres de l'OS</p>	<p>Logiciel permettant d'effectuer un simple clic pour garder la sélection sur une cible afin de la déplacer uniquement à l'aide des capacités motrices nécessaires pour la navigation. L'annulation de la sélection se fait par un deuxième clic sur la cible</p>	<p>NAVIGATION + SELECTION déplacement d'une cible</p>	<p>Souris (pour pieds), trackball, joystick (pour pieds), trackpad,</p>	<p>Manque de coordination et de précision du mouvement pour combiner une sélection et une navigation simultanées</p>
<p>Logiciels de dwell-clicking Logiciels commercialisés (payants ou gratuits) ex. Dwell Clicker 2 [www.thinksmartbox.com] [Simpson, 2013] Steady Clicks</p>	<p>Logiciels activant la sélection d'une cible après un certain temps d'attente (paramétré par l'utilisateur) une fois le curseur positionné sur la cible. La sélection se fait donc automatiquement sans l'usage d'une capacité motrice</p>	<p>SELECTION</p>	<p>Souris (pour pieds), trackball, joystick (pour pieds), trackpad, tracker de mouvements (oculaire, tête)</p>	<p>Problèmes musculaires au niveau des doigts ou des yeux empêchant la sélection</p>
<p>Logiciel commercialisé ex. SteadyMouse [www.steadymouse.com] [Trewin et al., 2006]</p>	<p>Logiciel permettant d'immobiliser le curseur lors de la sélection d'une cible pour éviter les glissements ou déplacements accidentels.</p>	<p>SELECTION</p>	<p>Souris (pour pieds), trackball, joystick (pour pieds), trackpad</p>	<p>Manque de précision des mouvements pour la sélection d'une cible avec un dispositif intégrant à la fois la navigation et la sélection.</p>

<p>EdgeWrite Text Entry Logiciels en libre distribution [depts.washington.edu/ewrite] [Wobbrock, 2014] [Polacek et al., 2015]</p>	<p>Suite de programmes, chacun adapté pour une modalité particulière, permettant l'entrée de caractères dessinés et issus d'un alphabet simplifié pour le dessin.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE par NAVIGATION + SELECTION</p>	<p>Tracker oculaire (EyeWrite avec Tobii), pavé numérique, trackball, joystick, touchpad</p>	<p>Impossibilité d'utiliser un dispositif de sélection directe (clavier mécanique) de manière efficace. Difficultés dans la réalisation de mouvements des membres supérieurs empêchant l'accès à un clavier, faiblesse musculaire des mains ou des doigts trop importante, etc.</p>
<p>Claviers virtuels statiques Logiciels commercialisés ou en libre distribution ex. Comfort On-Screen Keyboard [www.comfort-keyboard.com], Click2Speak [www.click2speak.net]</p>	<p>La plupart des systèmes d'exploitation proposent un clavier virtuel, dont les caractères peuvent être sélectionnés via le curseur. D'autres logiciels existent, parfois optimisés pour certains usages spécifiques.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE par NAVIGATION + SELECTION</p>	<p>Tous les dispositifs de pointage</p>	
<p>Claviers virtuels dynamiques Logiciels en libre distribution ex. SpreadKey [Merlin and Raynal, 2010], CanAssist Dynamic Keyboard [www.canassist.ca], Dasher [Ward et al., 2000]</p>	<p>Claviers virtuels "intelligents" pouvant disposer de fonctionnalités de prédiction de mots, de mémoire des mots qui reviennent le plus souvent, de probabilité d'utilisation de caractères, etc.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE par NAVIGATION + SELECTION</p>	<p>Souris, trackball, joysticks, trackers oculaires</p>	<p>Mauvaise motricité fine nécessaire à la manipulation d'un clavier virtuel statique par dispositif de pointage</p>
<p>Claviers virtuels spécialisés pour trackers oculaires Logiciels en libre distribution ex. OptiKey [github.com/OptiKey/OptiKey] Cadre de la recherche [Agustin et al., 2009]</p>	<p>Claviers virtuels adaptés aux trackers oculaires, évitant la problématique du dwell-clicking en utilisant la prédiction ou en switchant sur un deuxième clavier virtuel.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE par NAVIGATION + SELECTION</p>	<p>Trackers oculaires</p>	<p>Impossibilité d'utiliser les membres supérieurs pour interagir avec un dispositif de pointage pour l'entrée textuelle (paralysie, amputation,...)</p>
<p>Logiciel de contrôle de tremblements Stade de recherche ex. Tremor Control System (curseur) [Feys et al., 2001], Design Pattern TRABING (écrans tactiles) [Mertens et al., 2010]</p>	<p>Logiciel permettant d'atténuer voir de neutraliser les effets induits par les tremblements de l'utilisateur.</p>	<p>NAVIGATION/ SELECTION</p>	<p>Souris, trackball, joystick (Tremor Control System) Ecrans tactiles (TRABING)</p>	<p>Présence de tremblements liés à une maladie comme la Parkinson ou la sclérose en plaques empêchant un contrôle précis du curseur par un dispositif de pointage ou l'utilisation d'un écran tactile</p>

Logiciels de contrôle assisté des tablettes et smartphones [www.lectactiles.be]	logiciels permettant de faciliter la navigation et la sélection (interfaces simplifiées, assistants vocaux, menu assistant/assistive touch pour naviguer dans l'interface avec un seul doigt,...)	NAVIGATION/ SELECTION	Tablettes et smartphones (iOS, Android)	Mauvaise motricité fine et dextérité de la main et des doigts nécessaires à la manipulation d'un écran tactile
Techniques tactiles alternatives pour smartphones ou tablettes Systèmes commercialisés ex. FingerSense [www.geexo.com] Travaux de recherche ex. PalmTouch [Le et al., 2018], SlideRule [Kane et al., 2008a]	Utilisation de programmes qui détectent les différentes parties de la main (paume, ongles, jointure du doigt) et proposent différentes actions de sélection en fonction du geste exécuté (ex. apparition d'un menu contextuel suite à la double pression d'une jointure de doigt, d'un glissement suivant un motif précis)	NAVIGATION/ SELECTION	Tablettes et smartphones (iOS, Android)	
<b>Aides matérielles</b>				
Boutons programmables sur les dispositifs Produits commercialisés ex. SAM Joystick, Unimouse [www.contourdesign.fr]	Bouton dont la fonctionnalité peut être programmée pour réaliser une fonction particulière de navigation (ex. retour en arrière) ou de sélection (ex. double clic)	NAVIGATION/ SELECTION	Tout dispositif de pointage disposant de boutons programmables	cf. Augmenter/Réduire le control-display gain
Contacteur/Switch mécanique + interface d'accessibilité ou matériel adapté comme la Switch Adapted Mouse [www.infogrip.com] [Simpson, 2013] ou BJOU Click [www.bjliveat.com]	Bouton/interrupteur indépendant au dispositif de pointage permettant de manipuler le curseur avec un autre membre du corps. Peut nécessiter une interface d'accessibilité logicielle ou matérielle (ex. accès tablette ou smartphone : voir www.lectactiles.be)	NAVIGATION/ SELECTION	Tracker oculaire, de tête, tablette/smartphone, ou tout dispositif pouvant être combiné à un contacteur externe	Mauvaise motricité fine, précision de mouvement ou faiblesse musculaire des doigts empêchant la navigation et/ou la sélection efficace via un dispositif de pointage à contrôle direct ou indirect
Switch pneumatique Produits commercialisés ex. Sip and puff switch [www.orin.com] [www.enablingdevices.com]	Dispositif attaché à l'utilisateur (par un collier de nuque ou un casque) lui permettant de souffler ou d'inspirer pour effectuer une sélection.	SELECTION similaire à la souris pour la bouche	Tracker de mouvements (oculaire, tête), tout dispositif compatible dont les tablettes ou smartphones (moyennant un adaptateur physique ou logiciel)	Incapacités motrices sévères (formes de paralysie) empêchant l'utilisation efficace de tout type d'interrupteur physique
Détecteur de clic par claquement de dents Travaux de recherche (secteur médical) [Simpson et al., 2008]	Dispositif attaché au lobe de l'oreille permettant de détecter les claquements de dents afin de proposer une interface pour effectuer la sélection appropriée. Plus efficace que la sélection par reconnaissance vocale.	SELECTION	Tracker de tête infrarouge, et potentiellement d'autres dispositifs de tracking	

## 3.2 Modalités de balayage

Modalité		Fonctions motrices concernées	Remarques éventuelles sur l'utilisation
Dispositif physique et propriétés	Système de représentation de base /Fonction de transfert		
<p>Contacteur "tampon rond" [Collignon, 2003] Contacteur à pression physique +- 8-12 cm de diamètre ex. Big Beamer Transmitter [www.ablenetinc.com], Big red twist switch [www.livingmadeeasy.org.uk]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Appui sur une partie quelconque de la surface supérieure --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Mouvement latéral de la tête, Mouvements imprécis de la main, du bras ou du pied</p>	<p>Feedback auditif et/ou tactile pour confirmer l'opération Le diamètre important de la surface permet d'autoriser des mouvements approximatifs</p>
<p>Contacteur "plate-forme" [Collignon, 2013] Contacteur à pression physique +- 10 cm de diamètre ex. Plate Switch [www.ablenetinc.com]; Low Profile Switches [www.livingmadeeasy.org.uk]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Appui sur la partie circulaire de la surface supérieure --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Mouvement de la main, du doigt ou du pied, de faible intensité musculaire</p>	<p>Contacteur fin et plat ne nécessitant qu'un poids entre 50 et 100g pour être activé</p>
<p>Contacteur sensible Contacteur à pression physique Poids de 10g pour activation ex. Micro Light Switch [www.ablenetinc.com] [Collignon, 2003]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Effleurement sur la surface réceptrice --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Léger mouvement du doigt sans besoin de force ni d'appui</p>	<p>Feedback auditif et/ou tactile pour confirmer l'opération Destiné aux personnes atteintes de faiblesse musculaire ou d'atrophie</p>
<p>Contacteur "Jelly Bean" [Collignon, 2003] Contacteur à pression physique +- 7cm de diamètre ex. Buddy Button [www.ablenetinc.com] ex. Jelly Bean Twist Switch [www.livingmadeeasy.org.uk]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Appui sur la surface supérieure --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Mouvement de faible intensité musculaire avec une partie quelconque du corps</p>	<p>Feedback auditif et/ou tactile pour confirmer l'opération Contacteur sensible et facile à positionner. Peut être accroché à un support à bras réglable (voir les aides matérielles)</p>

<p>Contacteur mou [Collignon, 2003] Contacteur à pression physique Texture douce ex. Pillow Switch [www.ablenetinc.com]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Appui sur la surface supérieure --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Mouvement de la tête ou Mouvement brusque d'intensité musculaire importante avec la main ou le pied</p>	<p>Feedback auditif et/ou tactile pour confirmer l'opération Destiné aux personnes déployant beaucoup de force dans leurs mouvements</p>
<p>Contacteur double ex. Contacteur Double [www.cimis.fr/contacteurs]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Pression sur le premier switch --&gt; Modification du parcours des données et/ou choix d'un élément ; Pression sur le deuxième switch --&gt; Adaptation de paramètres relatifs au défilement ou choix d'un élément</p>	<p>Mouvement latéral de la tête, Mouvements imprécis de la main, du bras ou du pied</p>	<p>L'association de deux contacteurs permet d'adapter facilement le rythme du défilement, d'en modifier la direction ou d'utiliser un contacteur exclusivement pour la sélection</p>
<p>Contacteur au pouce Contacteur à pression physique ex. Hand-held Dome Switch [www.livingmadeeasy.org.uk]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Pression du pouce sur le bouton --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Capacité de préhension pour saisir le dispositif + Contrôle du mouvement du pouce de la main tenant le dispositif</p>	<p>Une pression contre un objet, une table ou un membre du corps peut être effectuée à la place de l'utilisation du pouce</p>
<p>Contacteur à poigne Contacteur par activité musculaire ex. Grasp Switch [www.ablenetinc.com]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Empoignement et compression du manche dans la main --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Bonne capacité de préhension et de relâchement rapide Force musculaire du poignet Dextérité des doigts</p>	<p>Destiné à des personnes disposant encore de bonnes capacités motrices au niveau de la main Feedback tactile</p>
<p>Contacteur infrarouge Capteur de proximité/ Clignement oculaire [Simpson, 2013] ex. SCATIR Switch Deluxe Kit [www.ablenetinc.com], Contacteur Optique ScatIR Deluxe [www.cimis.fr/contacteurs]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Détection du faisceau de lumière suite à un clignement de l'oeil, un mouvement du sourcil ou du visage --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Capacités motrices permettant de déplacer un membre à proximité du capteur ou Clignement des yeux, mouvement de l'oeil, des sourcils, des doigts, du visage</p>	<p>Idéal pour les utilisateurs ne pouvant pas utiliser de contacteurs à pression physique Possibilité de feedback auditif Peut être disposé en collier ou via des lunettes</p>

<p>Contacteur pneumatique Contacteur par pression de l'air ex. Imperium Sip And Puff Switch [www.ablenetinc.com], Contacteur Au Souffle Sur Flexible [www.cimis.fr/contacteurs]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Inspiration/Expiration dans le dispositif --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Contrôle des mouvements de la tête (des mouvements minimaux suffisent) et de l'ouverture de la bouche pour exercer une pression dirigée sur le bec + Maîtrise du souffle et de la respiration</p>	<p>Une action différente peut être définie pour l'inspiration et l'expiration Dispose d'un support de fixation Très forte sensibilité</p>
<p>Contacteur en ruban Contacteur par activité musculaire ex. Ribbon Switch [www.ablenetinc.com]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Pliage du ruban dans une des deux directions possibles --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Mouvement d'un membre quelconque pour plier le ruban</p>	<p>Feedback tactile Insensible à la force exercée</p>
<p>Contacteur à tirer Contacteur par activité musculaire ex. String Switch [www.ablenetinc.com] [Collignon, 2003]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Tirage d'une ficelle hors du dispositif --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Force minimale du doigt ou du bras pour tirer sur la ficelle</p>	<p>Feedback auditif et/ou tactile Idéal pour les individus ayant une mobilité limitée des doigts et de la main ou disposant de peu de force</p>
<p>Contacteur pour menton Contacteur par activité musculaire ex. Chin Switch [www.ablenetinc.com]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Inclinaison de la tête sur le dispositif --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Mouvement d'inclinaison de la tête vers le bas, le côté, ou l'arrière</p>	<p>Feedback auditif et/ou tactile Fourni avec un collier permettant de placer le dispositif au meilleur endroit en fonction des possibilités de mouvement de la tête</p>
<p>Contacteur à pied (pédale) Contacteur à pression physique ex. Foot Switch Computer Interface [www.adaptivetechsolutions.com]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Appui sur la surface de contact avec le pied --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Contrôle des mouvements de flexion d'un pied</p>	<p>Dispositif conçu pour être placé sur le sol et donc être utilisé exclusivement avec les pieds</p>
<p>Contacteur par morsure Contacteur par activité musculaire ex. Bite switch [www.adaptivetechsolutions.com]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Morsure dans une partie du dispositif avec les incisives --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Activités musculaires de la mâchoire (morsure et relâchement)</p>	<p>Peut être ajusté de telle sorte à être directement accessible à l'utilisateur via des aides matérielles</p>

<p>Contacteur sonore Contacteur par émission sonore (voix ou autre) [Collignon, 2003]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Emission d'un son d'un certain volume pendant un certain temps --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Voix opérationnelle ou autre son</p>	<p>Dispose d'un filtre pour éviter les interférences avec les bruits ambiants</p>
<p>Contacteur musculaire Contacteur par activité musculaire [Collignon, 2003] ex. Contacteur Musculaire [www.cimis.fr/contacteurs]</p>	<p>NAVIGATION/SELECTION Contraction perçue par un électrode placé sous la peau --&gt; Modification du parcours des données ou choix d'un élément</p>	<p>Contractions musculaires diverses</p>	<p>Intéressant en cas d'incapacité de mouvement ne nuisant pas à la contraction de certains muscles La sensibilité peut être paramétrée</p>

### 3.2.1 Aides logicielles et matérielles

Aides logicielles	Objectif d'utilisation	Tâche concernée	Dispositifs concernés	Handicaps moteurs concernés
<p>Adapter le délai et le taux de répétition Option de configuration relative à l'application contrôlée avec le switch</p>	<p>Délai de répétition : temps entre la première activation et la première répétition Taux de répétition : temps entre deux répétitions consécutives après la première répétition Empêcher des activations involontaires causées par un relâchement du switch trop lent</p>	<p>NAVIGATION/ SELECTION</p>	<p>Tout type de contacteur, principalement ceux à pression physique</p>	<p>Lenteur du mouvement ou faiblesse musculaire du membre utilisé pour l'activation du contacteur</p>
<p>Augmenter le temps de rebond Option de configuration relative à l'application contrôlée avec le switch</p>	<p>Le temps de rebond d'un switch correspond au temps entre deux activations du switch prises en compte par l'application. Les activations du switch durant le temps de rebond sont ignorées. Utile en cas d'activations involontaires répétées</p>	<p>NAVIGATION/ SELECTION</p>	<p>Contacteurs à pression physique</p>	<p>Mouvements musculaires incontrôlés (tremblements)</p>

Verouiller l'activation du switch (sorte de ClickLock) Possible ou non en fonction du switch utilisé	L'activation d'un switch peut être : Momentanée : possibilité d'une nouvelle activation juste après la précédente Chronométrée : nouvelle activation possible après un certain temps suite à l'activation précédente Verouillée : nouvelle activation possible à la suite d'une nouvelle sollicitation du switch	NAVIGATION/ SELECTION	Contacteurs à pression physique	Difficultés à maintenir la pression physique ou une position particulière pour garder le switch actif
Claviers virtuels compatibles avec la méthode d'interaction par balayage ex. Claviers Civikey [www.civikey.com], ScanningAmbiguous Keyboard [Mackenzie and Felzer, 2010] BlinkWrite2 [Ashtiani and Mackenzie, 2010]	Claviers virtuels permettant l'entrée textuelle en utilisant la méthode d'interaction par balayage, et donc par l'intermédiaire d'un contacteur.	ENTREE TEXTUELLE	Tout type de contacteur	Impossibilité d'utiliser un dispositif de sélection directe (clavier mécanique) de manière efficace. Difficultés dans la réalisation de mouvements des membres supérieurs empêchant l'accès à un clavier, faiblesse musculaire des mains ou des doigts trop importante, etc.
<b>Aides matérielles</b>				
Support physique rigide accroché à un bureau, une chaise roulante, un lit,... [Simpson, 2013]	Positionner un contacteur de manière à optimiser son accessibilité en fonction des capacités motrices de l'utilisateur. Un support rigide permet de maintenir la position du contacteur en cas d'usage intensif (coups de tête, mouvements brusques) ou devant rester à une position précise	NAVIGATION/ SELECTION	Contacteurs à pression physique	Difficultés de mouvement et déplacements difficiles pour l'accès au contacteur
Support physique flexible accroché à un bureau, une chaise roulante, un lit,... [Simpson, 2013] ex. voir [www.cimis.fr]	Positionner un contacteur de manière à optimiser son accessibilité en fonction des capacités motrices de l'utilisateur. Un support flexible permet d'adapter plus facilement la position du contacteur par rapport à celle de l'utilisateur	NAVIGATION/ SELECTION	Contacteurs à pression physique, switches pneumatiques ou autre en fonction du besoin	
Support physique en collier ("col de cygne") [Simpson, 2013]	Positionner un contacteur de manière à pouvoir le repositionner rapidement. Approprié lorsqu'un contacteur doit fréquemment changer de position	NAVIGATION/ SELECTION	Contacteurs par activités musculaires (menton, morsure,...), à pression physique ou autre en fonction du besoin	

### 3.3 Modalités à sélection directe

Modalité		Fonctions motrices ou sensorielles concernées	Remarques éventuelles sur l'utilisation
Dispositif physique et propriétés	Système de représentation de base /Fonction de transfert		
Clavier AZERTY/QWERTY ergonomique ex. Sculpt Ergonomic Keyboard [www.microsoft.com] Maltron L90 dual hand fully ergonomic keyboard [www.maltron.com]		Mouvements précis des membres supérieurs, dextérité des doigts Position et angle des bras plus confortables	Diminution de l'inconfort causé par l'utilisation d'un clavier non optimisé. L'ergonomie est préventive à la survenance de troubles musculosquelettiques
Clavier AZERTY/QWERTY étendu ex. Clavier Etendu Maltron [www.maltron.com] [Collignon, 2003]	ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/NAVIGATION) Pression d'un doigt sur une touche du clavier -->	Mouvements d'amplitude optimale mais imprécis Troubles visuels	Adapté pour la mise en place d'aides matérielles pour claviers : guide-doigts, codes couleurs, disposition des touches adaptable, indicateurs LED (feedback visuel),...
Clavier AZERTY/QWERTY réduit ex. Gamme SpaceSaver Keyboard de Datalux [www.datalux.com], Clavier réduit M82TA [www.cimis.fr]	Entrée d'un caractère, sélection, navigation du curseur, fonction système	Mouvements de faible amplitude mais de précision optimale	Dispose de tous les modes de fonctionnement d'un clavier AZERTY/QWERTY standard Prend moins de place sur un bureau Mieux adapté aux chaises roulantes
Clavier simplifié à grandes touches ex. BigKeys keyboards [www.bigkeys.com] Clavier simplifié CLEVVY [www.cimis.fr]		Mouvements limités ou imprécis des membres supérieurs Troubles visuels	Plusieurs options de disposition et de couleurs pour les touches

<p>Clavier à membranes interchangeable [Simpson, 2013] ex. IntelliKeys [www.bitt.org/intellikeys]</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE/ (SELECTION/NAVIGATION) Pression d'un doigt sur une touche du clavier --&gt; Entrée d'un caractère, sélection, navigation du curseur, fonction système</p> <p>ENTREE TEXTUELLE/ (SELECTION/NAVIGATION) Pression simultanée des doigts d'une main sur une combinaison de touches --&gt; Entrée d'un caractère, sélection, navigation du curseur, raccourci fonctionnel</p>	<p>Faiblesse musculaire, mouvements imprécis Membrane configurable en fonction des (in)capacités musculaires, visuelles ou cognitives</p>	<p>Feedback auditif possible Clavier de la membrane adaptable pour des tâches spécifiques, taille et forme des touches configurables, moins de modes de fonctionnement, transférabilité réduite</p>
<p>Clavier accord [Simpson, 2013] ex. BAT Keyboard [www.infogrip.com], CyKey [http://www.cykey.co.uk/]</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE/ (SELECTION/NAVIGATION) Pression d'un caractère, sélection, navigation du curseur, raccourci fonctionnel</p>	<p>Mouvements de la main et du bras limités Bonnes coordination et motricité fine des doigts d'une main dont les mouvements sont indépendants</p>	<p>Facilement portable Utilisable en cas de troubles visuels Transférabilité du dispositif et transparence fonctionnelle des touches très limitées et donc apprentissage plus lent Moins rapide qu'un clavier traditionnel d'ordinateur</p>
<p>Clavier optimisé à une main [Collignon, 2003] ex. Maltron Single Hand Keyboard [www.maltron.com], Clavier Mono-Manuel Seveke [www.cimis.fr]</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE/ (SELECTION/NAVIGATION) Pression des doigts d'une même main sur les touches --&gt; Entrée d'un caractère, sélection, navigation du curseur, fonction système</p>	<p>Utilisation d'un seul bras, de la main et des doigts associés, mouvements réduits au minimum</p>	<p>Disposition des touches optimisée pour minimiser le mouvement des doigts Verrouillage automatique des touches permettant de changer de mode de fonctionnement</p>
<p>Clavier manipulé par stick buccal ou doigt unique ex. Maltron Head/Mouth Stick Keyboard [www.maltron.com]</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE/ (SELECTION/NAVIGATION) Pression à l'aide d'un stick buccal d'un doigt sur une touche du clavier --&gt; Entrée d'un caractère, sélection, navigation du curseur, fonction système</p>	<p>Mouvements naturels de la tête (si utilisation par stick buccal) ou Mouvements du bras et de la main pour cibler une touche avec un doigt</p>	<p>Conçu pour être adapté aux mouvements naturels de la tête L'agencement des touches minimise le mouvement du doigt ou du stick Posé verticalement sur un bureau ou un bras articulé</p>
<p>Clavier programmable ex. Clavier USB Easytouch [www.cimis.fr]</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/NAVIGATION) Pression d'un doigt sur une touche --&gt; Entrée d'un raccourci clavier, d'une séquence de touches ou d'une commande système spécifique</p>	<p>Capacité de préhension (facultative) Troubles de la vision, cognitifs, fatigue, faiblesse musculaire ou mauvaise dextérité des membres supérieurs</p>	<p>Fourni avec un logiciel permettant la programmation des actions déclenchées par la pression sur les touches. Les actions peuvent être spécifiques à certaines applications.</p>

### 3.3.1 Aides logicielles et matérielles

Aides logicielles	Objectif d'utilisation	Tâche concernée	Dispositifs concernés	Handicaps concernés
<p>Sticky Keys Règlages internes à l'OS [Polacek et al., 2015] [www.bittt.org]</p>	<p>Permettre de ne pas devoir maintenir une touche enfoncée lorsque l'on en presse une autre lors d'un changement de mode de fonctionnement. Exemple : pression de Shift, relâchement puis pression de "a" vont donner un "A" majuscule</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)</p>	<p>Tous les types de clavier disposant de plusieurs modes de fonctionnement (certains claviers réduits n'en possèdent pas)</p>	<p>Problèmes de coordination des doigts d'une même main ou entre deux mains, Faiblesse musculaire des doigts, synchronisation du mouvement des doigts</p>
<p>Bounce Keys Règlages internes à l'OS</p>	<p>Permettre de tenir compte des pressions répétées non intentionnelles d'une même touche en désactivant la touche pressée pendant un certain temps après la première pression.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)</p>	<p>Tous les types de clavier sauf le clavier accord</p>	<p>Tremblements des doigts ou de la main</p>
<p>Repeat Keys Délai et taux (cf. aides logicielles aux contacteurs) Règlages internes à l'OS</p>	<p>Permettre d'ajuster le temps pendant lequel une touche doit être pressée avant que la répétition de l'action qu'elle déclenche ne commence.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)</p>	<p>Tous les types de clavier sauf le clavier accord</p>	<p>Lenteur du mouvement ou faiblesse musculaire des doigts</p>
<p>Slow Keys Délai à la PREMIERE pression Règlages internes à l'OS</p>	<p>Permettre d'ajuster le temps que met le système à détecter la pression d'une touche. Utilisé pour ignorer les pressions brèves causées par un manque de précision ou un déplacement appuyé des doigts sur le clavier pour atteindre une cible.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)</p>	<p>Tous les types de clavier sauf le clavier accord</p>	<p>Mouvements imprécis ou appui involontaire des doigts</p>
<p>Logiciel de conception de membranes ex. Overlay Maker pour Intellikeys [www.bittt.org/intellikeys/]</p>	<p>Permettre de concevoir des membranes adaptées aux incapacités motrices, sensorielles ou cognitives de l'utilisateur et de ses besoins.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)</p>	<p>Claviers à membranes interchangeables</p>	<p>Tout type d'incapacité motrice, sensorielle ou cognitive</p>
<p>Logiciel de prédiction et d'autocomplétion de mots ex. Lightkey [www.lightkey.io], TrueKeys (recherche) [Kane et al., 2008b] [Polacek et al., 2015]</p>	<p>Logiciel présentant à l'utilisateur les mots les plus probables qu'il serait entrain de taper et affinant cette sélection en fonction de la complétion manuelle du mot et du texte qui précède. L'utilisateur peut sélectionner le mot si il s'y trouve et réduire l'effort fourni pour l'entrée textuelle.</p>	<p>ENTREE TEXTUELLE</p>	<p>Tout type de clavier</p>	<p>Fatigue ou faiblesse musculaire</p>

Aides matérielles			ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)	Tous les types de clavier sauf le clavier accord	Restriction du mouvement du bras Problèmes de coordination, faiblesse musculaire ou manque de précision du mouvement des doigts
Dispositifs d'aide à la frappe [Simpson, 2013] ex. Slip On Typing, Typing Aid [www.healthproductsforyou.com]	Sorte de prothèse prolongeant la main pour permettre la saisie au clavier en cas de portée limitée des membres supérieurs. Peut aussi renforcer la précision du mouvement.	ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)	Tous les types de clavier plats, calculatrices, téléphones, télécommandes	Restriction du mouvement du bras Problèmes de coordination, faiblesse musculaire ou manque de précision du mouvement des doigts	
Guide-doigts [Simpson, 2013], [Collignon, 2003] [www.keyguardat.com]	Posé ou fixé sur le clavier, il permet de faciliter l'accès aux touches, d'éviter les frappes involontaires sur les touches voisines. Moins adaptés pour les doigts larges Spécifique à chaque clavier.	ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)	Tous les types de clavier plats, calculatrices, téléphones, télécommandes	Tremblements de la main, mouvements incontrôlés, faiblesse musculaire Troubles visuels	
Couverture en braille ex. Braille Keyboard Cover [www.livingmadefor.org.uk]	Posée sur le clavier, elle permet à un utilisateur malvoyant de distinguer les touches	ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)	Dépend de l'existence d'une telle couverture pour le clavier considéré	Troubles visuels profonds, malvoyance	
Clavier numérique annexe ex. Bluetooth wireless numeric keypad [www.satechi.net]	Placé à proximité d'un clavier réduit ou autre clavier ne permettant pas d'entrer des chiffres sans changer de mode de fonctionnement. Permet alors d'accélérer la saisie de chiffres et un positionnement adaptable des dispositifs	ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)	Peut être combiné à l'utilisation de tout clavier	Problèmes de coordination des doigts d'une même main ou entre deux mains compliquant le changement de mode de fonctionnement	
Repose bras/poignet ex. Ergorest 331 series (rallonge ajustable), Wrist and Arm Support Platform, Posturite Wrist Rest [www.posturite.co.uk]	Dispositifs permettant de reposer le poignet ou l'avant-bras entier lors de l'utilisation d'un clavier	ENTREE TEXTUELLE (SELECTION/ NAVIGATION)	Claviers positionnés sur un bureau	Tensions ou faiblesses musculaires	
Adaptation de la disposition des touches (modification logicielle et matérielle) ex. Disposition de Dorvak, en ordre alphabétique [Polacek et al., 2015]	Minimiser le mouvement des doigts. Superposition d'une membrane ou dispositif adapté. La disposition de Dorvak a été conçue pour faciliter la saisie des caractères les plus fréquemment utilisés Celle par ordre alphabétique semble efficace pour les utilisateurs non habitués aux claviers d'ordinateur	ENTREE TEXTUELLE	Claviers positionnés sur un bureau	Mouvement des doigts difficile ou douloureux	

### 3.4 Reconnaissance automatique de la parole

Modalité		Fonctions motrices ou sensorielles concernées	Remarques éventuelles sur l'utilisation
Dispositif physique et propriétés	Système de représentation de base /Fonction de transfert		
Microphone de casque ou d'oreillette Directivité omnidirectionnelle ou cardioïde			Plus forte sensibilité (cardioïdes) Bonne stabilité Dispositif devant être placé et retiré par l'utilisateur ou une assistance
Micro cravate / Lavalier Microphone attaché à un vêtement par une pince. Omnidirectionnel ou cardioïde ex. Rode SmartLav+ [www.thomann.de]	SELECTION/NAVIGATION Entrée d'une commande vocale -->	Production de la voix (intensité variable), articulation, fluidité du rythme de la parole	Plus forte sensibilité (cardioïdes) Plus de possibilités dans la position Dispositif pouvant se détacher facilement suite à un mouvement involontaire de l'utilisateur
Microphone col de cygne Directivité cardioïde ex. USB Desktop Microphone [www.cyberacoustics.com], Gooseneck microphones [www.dpamicrophones.com]	Exécution d'une action par le système  ENTREE TEXTUELLE Dictée vocale -->		Forte sensibilité (adapté pour les voix de faible intensité) Position ajustable de par son support flexible. Peut être posé sur une table ou sur un support au sol.
Microphone de table Omnidirectionnel ex. Samson CM11B [www.samsontech.com]	Interprétation d'une suite de caractères par le système	Production de la voix  (intensité de conversation normale), articulation, fluidité du rythme de la parole	Dispositif placé sur une table à proximité de l'utilisateur Portée plus élevée mais plus sensible au bruit ambiant
Microphones en réseau ("Microphones array" en anglais) ex. Voice Tracker [www.acousticmagic.com]			Traitement efficace du bruit ambiant sans altération des données vocales Liberté de mouvement de l'utilisateur Portée allant jusqu'à une dizaine de mètres pour certains modèles

### 3.4.1 Aides logicielles et matérielles

Aides logicielles	Objectif d'utilisation	Tâche concernée	Dispositifs concernés	Fonctions concernées
Logiciel de pointage par reconnaissance acoustique ex. Vocal Joystick (commandes par émission de son continue ou discrète) Travaux de recherche [A. Bilmes et al., 2005]	Permettre à l'utilisateur de contrôler son environnement par l'émission de sons produits par les cordes vocales, sans devoir articuler. Permet un contrôle complet du curseur.	NAVIGATION/ SELECTION	Tout type de microphone	L'articulation, la production intelligible de mots, de phrases.
Logiciel d'entrée textuelle par reconnaissance acoustique ex. CHANTI Travaux de recherche [Sporka et al., 2011]	Clavier virtuel ambigu permettant à l'utilisateur d'entrer du texte par l'émission de bourdonnements ou de sifflements produits par les cordes vocales, sans devoir articuler.	ENTREE TEXTUELLE	Tout type de microphone	L'articulation, la production intelligible de mots, de phrases.
Clavier virtuel acoustique dynamique ex. Speech Dasher Projet de recherche Combiné au suivi du regard [Vertanen and MacKay, 2010]	Permettre à l'utilisateur une entrée textuelle dynamique en utilisant la voix et le contrôle du regard. Nécessite donc deux modalités d'interaction	ENTREE TEXTUELLE	Tout type de microphone + Tracker oculaire (Tobii, autre ?)	Impossibilité d'utiliser un dispositif de sélection directe (clavier mécanique) ou un clavier virtuel compatible avec une méthode de pointage ou de balayage de manière efficace.
<b>Aides matérielles</b>				
Laryngophone (microphone de contact) ex. Laryngophone Pour Midland CT210 [www.officeeasy.be/midland]	Microphone posé sur la gorge qui permet de capter les vibrations du larynx et des cordes vocales pour restituer la voix et les paroles. Utile en cas d'aphonie ou d'environnement bruyant.	NAVIGATION/ SELECTION/ ENTREE TEXTUELLE	Tout type de microphone omnidirectionnel (plus pratique avec un micro distant)	Le volume de la voix

## 3.5 Constatations et critiques

Tout d'abord, on remarque que la majorité des publications scientifiques pertinentes relevées concernent les modalités de pointage et leurs aides logicielles. Cela peut s'expliquer par le fait que la méthode d'interaction par pointage reste la plus utilisée car la plus intuitive pour de nombreuses applications. De plus, ces modalités englobent un panel de dispositifs beaucoup plus large que les 3 autres catégories de modalités présentées.

Au cours des recherches, de récents travaux de compilation de dispositifs d'interaction pour les personnes en perte d'autonomie ont été découverts. Ceux-ci ont été menés au sein de la Plate-Forme Nouvelles Technologies de l'hôpital Raymond Pointcaré<sup>1</sup> par une équipe pluridisciplinaire composée d'étudiants de polytechnique et d'ergothérapie et dirigée par Samuel Pouplin. On retrouve parmi les documents publiés un état de l'art sur les systèmes de pointage par les yeux [Pouplin et al., 2016], les claviers virtuels [Pouplin and Cabanilles, 2015] et un tableau comparatif des contacteurs [Seeberger et al., 2015]. La dernière mise à jour de ces documents date d'il y a trois ou quatre ans mais comprend encore une majorité de dispositifs vieux d'une quinzaine d'années.

Cette dernière constatation nous amène à conclure que malgré l'âge "avancé" (si on se réfère au domaine des nouvelles technologies) d'une grande partie des modalités présentées, leur utilisation est toujours d'actualité. On peut même considérer que le facteur de durée de vie dans la littérature et le commerce est un gage d'efficacité et de qualité. Leur présence dans ce travail est donc pertinente.

Ensuite, on constate que certaines aides logicielles parmi les plus efficaces sont en fait simples et rapides à mettre en place. En effet, le système d'exploitation dispose de paramètres pour les dispositifs de pointage ou à sélection directe (clavier). Leur réglage permet déjà à l'utilisateur conscient de leur existence de pallier certaines difficultés d'utilisation.

Enfin, quelques critiques sur la présentation des informations recueillies au cours des recherches doivent être émises.

La première concerne l'imprécision au niveau des fonctions motrices impliquées dans l'utilisation des modalités. Certaines sources étant muettes à ce sujet, l'information donnée relève alors simplement du bon sens et reste le fruit d'une réflexion empirique, bien que celle-ci soit influencée par des sources abordant la problématique comme [Simpson, 2013]. Il en va de même pour les handicaps corrigés par les aides logicielles et matérielles.

Une autre critique est que les modalités d'interaction gestuelle n'ont été abordées que dans le cadre du pointage par suivi de mouvements de la tête et du regard. Il existe d'autres méthodes d'interaction par détection de gestes qui n'ont pas été présentées par manque de temps et d'intérêt pour les personnes en perte de mobilité.

---

1. [https://www.handicap.org/?page\\_id=176](https://www.handicap.org/?page_id=176)

# Chapitre 4

## Contraintes liées à l'utilisateur

### 4.1 Incapacités, déficiences et leurs origines

Cette section porte sur les contraintes de l'utilisateur, plus particulièrement sur les handicaps moteurs et sensoriels susceptibles d'impacter l'utilisation d'une modalité d'interaction. L'intention de départ était d'obtenir un répertoire aussi exhaustif que possible des déficiences et d'y associer une mesure permettant de les quantifier. Les rencontres et contacts avec ergothérapeutes n'ont cependant pas pu mener à l'obtention d'une telle source d'informations. Sur les conseils du CRETH, la réflexion a été réorientée sur base de la *Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé* (ci-après abrégée "Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF)") [OMS, 2001]. Ce document a servi de référence formelle et solide pour permettre la constitution d'une base de connaissances de départ d'incapacités et de déficiences motrices et sensorielles.

#### 4.1.1 Conception et objectifs de la CIF

La CIF a été rédigée pour servir d'ouvrage de référence pouvant être utilisé dans différentes disciplines de différents secteurs. Elle offre entre autres une normalisation du langage utilisé pour décrire les états de la santé en vue d'améliorer la communication entre les différentes disciplines (travailleurs du domaine médical, chercheurs de tous domaines, décideurs, ...). En effet, l'objectif poursuivi par l'OMS<sup>1</sup> en rédigeant ce document était la mise en place d'un système pratique pour être utilisé par différents acteurs intervenant d'une manière ou d'une autre dans le secteur de la santé.

Pour mener à bien cet objectif, les rédacteurs ont mis au point un modèle conceptuel pour structurer la classification en quatre composantes :

- Fonctions organiques et Structures anatomiques : description des éléments de l'organisme
- Activités et Participation : activités accessibles ou non, actions pouvant être accomplies ou non
- Facteurs environnementaux : ce qui est prévu pour faciliter ou non l'intégration des personnes en situation de handicap
- Facteurs personnels : ce qui est propre à l'individu

Ces quatre composantes sont elles-mêmes divisées par domaines, regroupant à leur tour différentes catégories. La figure 4.1 donne un aperçu général du contenu de la CIF et la figure 4.2 l'interaction entre les composantes.

Cette structure permet à la CIF d'être utilisée comme outil statistique, pédagogique, politique voir de recherche ou d'évaluation clinique, et ce quel que soit le domaine d'application.

---

1. Organisation Mondiale de la Santé



### 4.1.2 Définition des concepts utilisés

La CIF formalise la définition de concepts trop souvent utilisés à tort et à travers par des profanes au secteur de la santé. Certaines d'entre elles, relatives au contenu de cette section, sont reprises ci-dessous.

**Definition 4.1.1. Déficience** *Perte, carence ou anomalie d'une fonction organique ou d'une structure anatomique, sous forme d'écart important par rapport à des normes statistiques établies.*

**Definition 4.1.2. Activité** *Exécution d'une action, fait pour une personne de faire quelque chose.*

**Definition 4.1.3. Capacité** *Schéma qui indique, sous forme de code qualificatif, le plus haut niveau possible de fonctionnement qu'un individu puisse atteindre dans un domaine de la composante "Activité et participation" à un moment donné. La capacité se mesure dans un environnement uniforme ou normal, reflétant ainsi l'aptitude de l'individu ajustée de son environnement. La composante "Facteurs environnementaux" peut servir à décrire les caractéristiques de cet environnement uniforme ou normal.*

**Definition 4.1.4. Limitation d'activité ou Incapacité** *Difficulté qu'une personne peut rencontrer pour mener à bien une activité.*

**Definition 4.1.5. Handicap** *Terme générique désignant les déficiences, les limitations d'activité et les restrictions de participation. Désigne les aspects négatifs de l'interaction entre un individu et les facteurs contextuels face auxquels il évolue.*

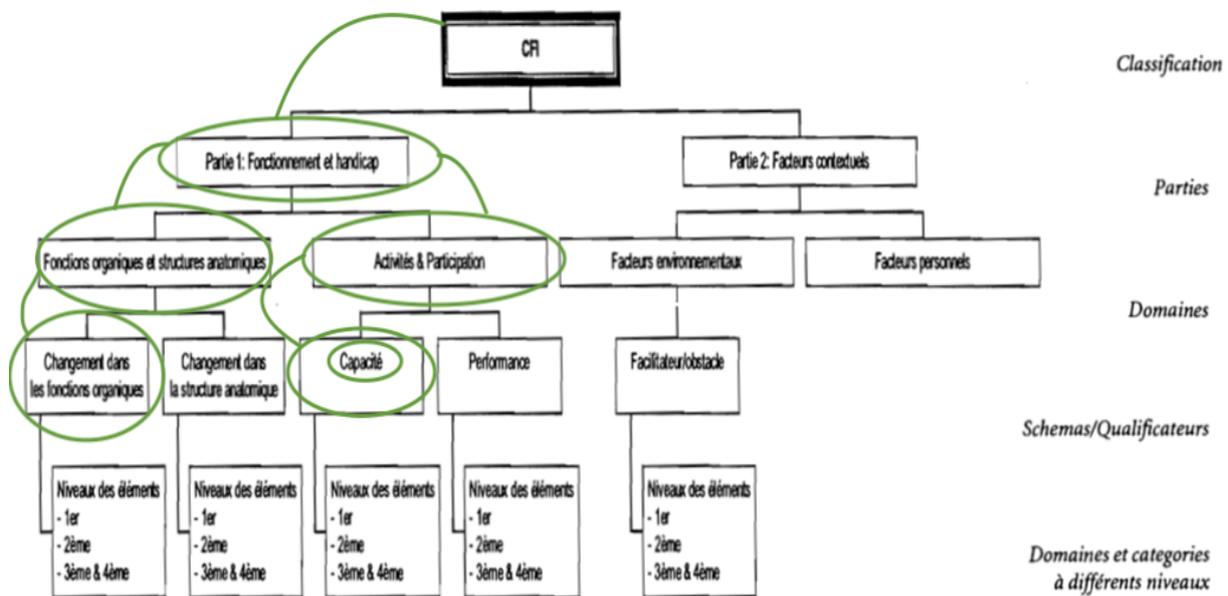


FIGURE 4.3 – Structure de la CIF - [OMS, 2001]

La figure 4.3 reprend les différentes parties de la CIF et la façon dont elles sont structurées. Pour obtenir des informations sur les incapacités d'un individu, il a fallu focaliser la recherche dans la composante *Activités et Participation*. Les déficiences prises en compte sont celles issues des *Changements dans les fonctions organiques*. Une sélection parmi les fonctions organiques et les activités a été faite dans les deux sous-sections suivantes afin de reprendre celles impliquées dans l'utilisation d'une modalité d'interaction. Cette sélection est toutefois purement **empirique** et pourra être affinée ou complétée à l'avenir.

### 4.1.3 Etude des fonctions organiques

**Evaluation de l'étendue d'une déficience** La CIF fonctionne avec un code qualificatif pour évaluer l'étendue ou l'importance d'une déficience d'une fonction organique. Pour des raisons de clarté, ce code sera simplifié en une échelle de 0 à 4 définie comme suit :

- 0 : Pas de déficience (aucune, absente, négligeable)
- 1 : Déficience légère ou faible
- 2 : Déficience modérée (moyenne, passable)
- 3 : Déficience grave (élevée, extrême)
- 4 : Déficience absolue ou totale

#### Fonctions mentales spécifiques

**Fonctions de l'attention** *Fonctions mentales spécifiques de concentration sur un stimulus externe ou une expérience interne pour la période de temps requise* [OMS, 2001]. On peut relever trois fonctions de l'attention entrant en compte dans l'utilisation d'une modalité :

- Maintien de l'attention : produire l'attention pour une période de temps requise
- Déplacement de l'attention : reporter la concentration d'un stimulus à un autre
- Division de l'attention : se concentrer sur deux stimuli ou plus en même temps.

**Fonctions perceptuelles** *Fonctions mentales et spécifiques de reconnaissance et d'interprétation des stimuli sensoriels* [OMS, 2001]. On retiendra trois types de perception :

- Perception auditive : reconnaissance des sons, tons, timbres et autres stimuli acoustiques
- Perception visuelle : reconnaissance des formes, tailles, couleurs et autres stimuli oculaires
- Perception tactile : distinction des différences de textures perçues par le toucher

**Fonctions mentales du langage (expression)** *Fonctions mentales spécifiques de reconnaissance et d'utilisation des signes, des symboles et d'autres composantes du langage* [OMS, 2001].

Les types de langage considérés seront les suivants :

- Expression du langage parlé : production de messages parlés significatifs
- Expression du langage écrit : production de messages écrits significatifs

**Fonctions mentales relatives aux mouvements complexes** *Fonctions mentales spécifiques de séquençage et de coordination de mouvements complexes intentionnels* [OMS, 2001].

#### Fonctions sensorielles

**Fonctions visuelles** *Fonctions sensorielles associées à la perception de la présence de la lumière et de la forme, taille et couleur du stimulus visuel* [OMS, 2001].

- Fonctions d'acuité visuelle : perception de la forme et du contour pour la vision de loin ou de près
- Fonctions du champ visuel : relatives au champ visuel couvert par un regard fixe
- Qualité de la vision : sensibilité à la lumière, vision des couleurs, sensibilité différentielle, qualité de l'image visuelle

**Fonctions des muscles externes de l'oeil** *Fonctions des muscles utilisés pour regarder dans différentes directions, pour suivre un objet lorsqu'il se déplace dans le champ visuel, produire des sauts saccadés afin de rattraper une cible mobile et pour fixer du regard* [OMS, 2001].

**Fonctions de l'audition** *Fonctions sensorielles associées à la perception de la présence de sons et à la distinction de leur localisation, ton, force et qualité* [OMS, 2001]

- Perception auditive : fonctions sensorielles associées à la perception de la présence de sons
- Distinction du langage parlé : fonctions sensorielles associées à la distinction du langage parlé par rapport à d'autres sons

**Sensation de douleur** *Sensations de douleur généralisée ou localisée dans une ou plusieurs parties du corps* [OMS, 2001]. Douleur à la tête et au cou, au membre supérieur ou inférieur ou dans les articulations.

## **Fonctions de la voix et de la parole**

**Fonctions de la voix** *Fonctions de production de divers sons par le passage de l'air dans le larynx* [OMS, 2001].

- Production de la voix : production du son au moyen de la coordination du larynx et des muscles environnants avec le système respiratoire
- Qualité de la voix : production des caractéristiques de la voix (timbre, sonorité, etc.).

**Fonctions de l'articulation** *Fonctions relatives à la production des sons de la parole* [OMS, 2001].

**Fonctions de fluidité et de rythme** *Fonctions relatives à la production du débit et du tempo de la parole* [OMS, 2001].

- Fluidité de la parole : production d'un débit élocutoire égal et continu
- Rythme de la parole : modulation, tempo, accent tonique
- Vitesse de la parole : rapidité de production des mots

## **Fonctions des articulations et des os**

**Fonctions relatives à la mobilité des articulations** *Fonctions relatives à l'amplitude et à la facilité de mouvement d'une articulation* [OMS, 2001]

Sont reprises ici les articulations de l'épaule, du coude, du poignet, de la cheville et les petites articulations des mains.

## **Fonction des muscles**

**Fonctions relatives à la puissance musculaire** *Fonctions relatives à la force générée par la contraction d'un muscle ou de groupes de muscles* [OMS, 2001].

- Puissance des muscles isolés : force générée par la contraction de (groupes de) muscles spécifiques et isolés (ex. petits muscles des pieds et des mains)
- Puissance des muscles d'un membre : force générée par la contraction de (groupes de) muscles d'un bras ou d'une jambe
- Puissance des muscles d'un côté du corps : force générée par la contraction de (groupes de) muscles situés du côté gauche ou droit du corps
- Puissance des muscles de la moitié inférieure du corps : force générée par la contraction de (groupes de) muscles situés dans la moitié inférieure du corps
- Puissance des muscles de tous les membres : force générée par la contraction de (groupes de) muscles des quatre membres

**Fonctions relatives au tonus musculaire** *Fonctions relatives à la tension présente dans les muscles au repos et à la résistance offerte lors de l'exécution de mouvements passifs [OMS, 2001].*  
Subdivision identique aux *fonctions relatives à la puissance musculaire*.

## **Fonctions liées au mouvement**

**Fonctions relatives au contrôle des mouvements volontaires** *Fonctions relatives au contrôle et à la coordination des mouvements volontaires [OMS, 2001].*

- Contrôle des mouvements volontaires simples et complexes
- Coordination des mouvements volontaires

**Fonctions relatives aux mouvements involontaires** *Fonctions relatives aux contractions involontaires, non intentionnelles ou semi-intentionnelles, d'un (groupe de) muscle(s) [OMS, 2001]*

- Contractions involontaires des muscles comme ceux d'un dysfonctionnement psychologique
- Tremblement : alternance contraction-détente d'un groupe de muscles autour d'une articulation, entraînant de l'agitation
- Tics et maniérismes : contractions répétitives, quasi-intentionnelles et involontaires d'un groupe de muscles

**Sensations relatives aux fonctions des muscles et aux fonctions motrices** *Sensations relatives aux muscles ou à des groupes de muscles et leurs mouvements [OMS, 2001].*

- Raideur musculaire : sensations de crispation
- Spasme musculaire : contraction involontaire d'un muscle ou d'un groupe de muscles

### **4.1.4 Etude des activités et participations**

**Evaluation de la performance d'une capacité** L'évaluation de la performance d'une capacité se fait en évaluant la **difficulté** de réalisation de la tâche. Plus cette difficulté est élevée, plus l'**incapacité** à réaliser la tâche est importante. Les codes qualificatifs d'une capacité peuvent être utilisés en tenant compte ou non d'une aide technique ou d'une assistance à la réalisation. Pour des raisons de clarté, ce code sera simplifié en une échelle de 0 à 4 définie comme suit :

- 0 : Aucune difficulté (aucune, absente, négligeable)
- 1 : Difficulté légère
- 2 : Difficulté modérée (moyenne)
- 3 : Difficulté grave (élevée, extrême)
- 4 : Difficulté absolue (totale)

## **Communication - produire des messages**

**Parler** *Produire des messages faits de mots, de phrases et de passages plus longs, porteurs d'une signification littérale ou figurée [OMS, 2001]*

## **Porter, déplacer et manipuler des objets**

**Soulever et porter des objets** Lever et déplacer un objet d'un endroit à un autre.

- Soulever un objet
- Porter un objet en main
- Déposer un objet

**Déplacer des objets avec les membres inférieurs** *Exécuter des actions coordonnées visant à déplacer des objets en utilisant les jambes et les pieds* [OMS, 2001].

**Activités de motricité fine** *Manier des objets, les ramasser, les manipuler, les lâcher en utilisant la main, les doigts et le pouce* [OMS, 2001].

- Saisir : utiliser une main ou les deux pour saisir et tenir fermement quelque chose (capacité de préhension).
- Manipuler : utiliser les doigts et les mains pour contrôler, diriger ou guider quelque chose.
- Lâcher : utiliser les doigts ou les mains pour lâcher quelque chose, le laisser tomber ou le changer de position.

**Utilisation des mains et des bras** *Effectuer les gestes coordonnés nécessaires pour déplacer les objets ou les manipuler en utilisant les mains et les bras* [OMS, 2001].

- Tirer : utiliser les doigts, les mains et les bras pour attirer quelque chose à soi
- Pousser : utiliser les doigts, les mains et les bras pour éloigner quelque chose de soi
- Chercher à prendre : tendre les mains et les bras pour saisir quelque chose
- Tourner ou tordre les mains ou les bras : pour tourner, retourner ou plier quelque chose

#### 4.1.5 Lien entre déficiences et limitations d'activités

Comme le montre la figure 4.2, il existe un lien évident entre la capacité à réaliser une activité et l'état des fonctions organiques d'un être humain. Outre les facteurs contextuels que nous n'aborderons pas dans cette section, la capacité à accomplir une activité peut être impactée par la présence d'une déficience dans une fonction organique. Comme le précise la CIF, *Inférer une limitation de capacité à partir d'une ou de plusieurs déficiences, ou une restriction de performance à partir d'une ou plusieurs limitations, peut souvent sembler correct* [OMS, 2001].

Il faut cependant garder à l'esprit que cette inférence n'est pas une généralité. On peut être atteint d'une déficience sans pour autant connaître une limitation d'activité (un visage défiguré par la lèpre par exemple) ou subir des limitations d'activités sans être porteur d'une déficience particulière (réduction de performance dans une activité suite à un manque de pratique par exemple).

La sous-section suivante s'intéressera aux déficiences de fonctions organiques impliquant des limitations (ou incapacités) dans la réalisation des activités entreprises pour l'utilisation des modalités d'interaction.

De même, ce sont ces déficiences qui seront reprises comme critères d'attribution d'une modalité dans la méthodologie présentée dans la suite du travail. Ce choix a été fait car les activités et leurs limitations telles qu'elles sont définies par la CIF sont de trop "haut niveau" pour en faire un critère d'attribution pertinent.

#### 4.1.6 Déficiences des fonctions organiques

Les déficiences seront subdivisées en fonction du canal de communication concerné pour faciliter le processus de recommandation des modalités d'interaction.

Bien que reprises ci-dessus, les fonctions de l'attention et de l'audition ne seront pas prises en compte dans l'étude qui suit. Cette décision a été prise à cause de l'absence d'information concernant l'implication de ces deux types de fonctions dans l'utilisation des modalités étudiées.

Il est évident que la liste des déficiences présentées n'est pas exhaustive. Une sélection a été faite parmi celles proposées par la CIF et complétée par celles abordées par d'autres sources comme [Simpson, 2013] ou le site Passeport Santé. Seules des déficiences dont les altérations sont susceptibles de contraindre l'utilisation de modalités d'interaction ont été sélectionnées.

Des sources complémentaires ont été nécessaires pour détailler ces altérations car la CIF manque d'information à ce sujet. Pour ce faire, les ressources suivantes ont été utilisées :

- Le site *Passeport Santé*<sup>2</sup> : ce site a été sélectionné pour son contenu à destination du grand public et sa collaboration avec des experts qualifiés pour la rédaction de ses articles. Les méthodologies utilisées pour la sélection des sources d'information et la rédaction des fiches en font une source d'information pertinente.
- Le site de l'Association de Parents d'Enfants Aphasiques et Dysphasiques (APEAD)<sup>3</sup> : le site de cette association fournit des définitions compréhensibles pour le grand public concernant la dysphasie et ses troubles associés.
- L'encyclopédie en ligne *Universalis*<sup>4</sup>
- L'encyclopédie du Larousse français<sup>5</sup>

Ces références ont permis d'obtenir un niveau de détail limité dans la définition des altérations pour garder l'information accessible au grand public. L'utilisation de références provenant du domaine médical a été un temps envisagé puis abandonné par manque de temps et de besoin de détails scientifiques.

La conception des tableaux qui suivent a été pensée pour remplir un double objectif :

- Conserver la découpe des fonctions proposée par la CIF
- Rester proche de la structure des tableaux du chapitre précédent pour en faciliter la lecture et la mise en concordance lors de la conception de la méthodologie d'attribution

---

2. [www.passeportsante.net](http://www.passeportsante.net)

3. [www.apead.be](http://www.apead.be)

4. [www.universalis.fr](http://www.universalis.fr)

5. [www.larousse.fr/encyclopedie/](http://www.larousse.fr/encyclopedie/)

Canal gestuel (1) :

Type de fonction	Fonction organique concernée	Déficience	Altérations subies
Articulatoires	Mobilité des articulations	Arthrite	Douleurs aux articulations, ligaments, tendons, os ou d'autres éléments du système musculosquelettique. L'inflammation de plusieurs articulations peut entraîner une limitation dans leur amplitude de mouvement (ex. Polyarthrite rhumatoïde)
		Faiblesse ou fatigue musculaire	Perte de force dans les muscles empêchant ou compliquant la mobilisation du ou des membre(s) concerné(s). Le muscle sollicité ne répond pas normalement, quel que soit l'effort fourni. Entraine des difficultés de préhension et de motricité fine si les muscles de la main sont concernés.
Musculaires	Puissance musculaire	Fatigabilité musculaire anormale (hors CIF)	Le muscle répond et agit normalement mais s'épuise plus vite et récupère plus lentement.
		Monoplégie	Paralysie d'un seul membre ou d'un même groupe musculaire
		Hémiplégie	Paralysie des membres du corps d'un seul coté
		Paraplégie	Paralysie d'une partie du tronc et des jambes
		Tétraplégie	Paralysie des membres inférieurs et supérieurs
		Akinésie	Incapacité ou difficulté à réaliser certains mouvements (ex. akinésie parkinsonienne : lenteur dans l'initiation des mouvements)
	Tonus musculaire	Hypotonie	M manque de tonicité et de tension musculaire. Lors de leur sollicitation, les muscles concernés répondent peu ou moins bien que la normale.
		Hypertonie (élastique ou plastique)	Excès de tonus musculaire entraînant une contraction réflexe du muscle qui s'oppose à son étirement
		Spasticité musculaire	Augmentation du tonus musculaire qui se traduit par une raideur musculaire persistante et des spasmes douloureux

Canal gestuel (2) :

Fonctions liées au mouvement	Contrôle des mouvements volontaires	Apraxie motrice (lésion cérébrale)/ Dyspraxie (trouble de l'apprentissage) (hors CIF)	Difficultés à trouver et automatiser les séquences de mouvements nécessaires à la réalisation de gestes simples pour interagir avec son environnement. Peut impliquer des limitations de motricité fine.
	Mouvements involontaires	Mouvements athétosiques	Mouvements anormaux, lents, irréguliers, ininterrompus et de faible amplitude. Peuvent affecter le cou, la tête et les membres. Spontanés ou parasitant les gestes volontaires
		Dyskinésie	Mouvements anormaux de la tête, du visage ou de la langue
		Tremblements	Alternance contraction-détente d'un groupe de muscles autour d'une articulation, entraînant de l'agitation
	Sensations relatives aux fonctions des muscles	Tics et maniérismes	Contractions répétitives, quasi-intentionnelles et involontaires d'un groupe de muscles
		Raideur musculaire	Sensation de crispation du muscle
		Spasme musculaire	Sensation de contraction involontaire d'un muscle ou d'un groupe de muscles

Canal visuel (vision et regard) :

Type de fonction	Fonction organique concernée	Déficience	Altérations subies	
Fonctions sensorielles	Fonctions d'acuité visuelle (forme et contour)	Myopie, hypermétropie, presbytie, astigmatisme,...	Corrigées par un dispositif (lunettes ou lentilles)	
	Fonctions du champ visuel	Stocome central ou périphérique		Présence d'une ou plusieurs taches, noires ou lumineuses, au niveau d'un oeil ou des deux, au centre de la vision ou en périphérie.
		Vision canalaire		Perte (graduelle) de la vision périphérique Origine possible : Glaucome (maladie dégénérative)
		Dégénérescence maculaire (hors CIF)		Pete (graduelle) de la vision centrale Origine possible : DMLA (maladie dégénérative)
	Qualité de la vision	Anopsie		Perte de la vue malgré le bon état des organes récepteurs
		Diplopie (vision double)		Perception de deux images visuelles d'un seul objet
		Vision trouble, altérations de l'image visuelle		Vision floue, difficultés à saisir une image de près ou de loin, sensibilité à la lumière accrue, ... Origine possible : Cataracte
	Fonctions des muscles externes de l'oeil		Nystagmus	Mouvement d'oscillation involontaire et saccadé du globe oculaire

Canal vocal :

Type de fonction	Fonction organique concernée	Déficience	Altérations subies
Fonctions mentales	Expression du langage parlé	Aphasie (lésion cérébrale)/ Dysphasie (trouble de l'apprentissage)	Déficit sévère de la production (expressive) et/ou de la compréhension (réceptive) de la parole et du langage oral. Peut aller de la difficulté à trouver ses mots à une perte totale d'expression ou de compréhension. Origine possible : AVC.
Vocale	Production de la voix	Aphonie/Extinction de voix	Impossibilité d'émettre un son, seul le chuchotement est possible
	Qualité de la voix	Dysphonie/Enrouement	La voix se casse et devient enrouée par le dysfonctionnement des cordes vocales
Articulation	Articulation des phonèmes, énonciation	Dysarthrie (spastique, ataxique, flaccide), anarthrie	Troubles de l'articulation, du débit et du rythme de parole provoqués par le dysfonctionnement ou l'atrophie de la mâchoire, des lèvres ou de la langue.
		Bégaiement et bredouillement	Perturbation du débit et du rythme de la parole. Répétitions involontaires au niveau du premier son, de la première syllabe. Interruptions irrégulières dans la parole
Fluidité et rythme	Fluidité et rythme de la parole	Tachylalie	Trouble de la parole caractérisé par une vitesse anormale du débit
		Bradylalie	Lenteur anormale dans l'élocution, au rythme monotone

## 4.1.7 Origines des handicaps et possibilités d'évolution

S'intéresser aux origines des handicaps va permettre d'avoir une idée de leur évolution. Une étude précise n'est pas envisagée dans ce travail, étant donné le manque de connaissances dans le domaine. [Delcey, 2002] propose une analyse générale des catégories d'handicaps dans laquelle il distingue les affections en fonction de leur mécanisme d'apparition. Les paragraphes qui suivent résument cette analyse en y abordant la problématique de l'évolutivité.

**Handicaps par malformation** Handicaps qui surviennent avant la naissance, lors du développement de l'embryon ou du fœtus. On y retrouve les malformations du crâne, des vertèbres, du squelette ou des membres ainsi que l'absence ou les problèmes de formation d'un organe. L'handicap est présent à la naissance mais ses conséquences peuvent ne se révéler qu'à partir d'un certain âge.

**Handicaps par traumatismes** Handicaps acquis à la suite de blessures accidentelles comme les traumatismes crâniens, médullaires (paraplégie, tétraplégie traumatique), fractures, amputations,... On préférera utiliser le terme *blessure traumatique* à *traumatisme* qui peut être utilisé dans un sens plus large. Une blessure traumatique peut se résorber, atténuant ainsi les déficiences engendrées, stagner ou s'aggraver. L'évolution dépend de la blessure et son rythme reste propre à chaque individu.

**Handicaps par maladie** Handicaps dont la cause n'est ni une malformation ni une blessure traumatique. On distingue plusieurs types de maladies en fonction de leur évolution :

- **Maladies chroniques évolutives (MCE)** : maladies caractérisées par des périodes plus ou moins longues de stabilisation entre lesquelles une évolution péjorative a lieu. L'extrême variabilité de leur évolutivité rend compliquée une prédiction précise d'aggravation des déficiences. Exemples de MCE : Sclérose en Plaques, SLA, maladie de Charcot-Marie-Tooth, dystrophies musculaires progressives, polyarthrite rhumatoïde,...
- **Maladies non évolutives** : maladies dont les symptômes directs ne sont pas évolutifs mais pouvant tout de même amener une évolution dans les incapacités induites. Par exemple, l'infirmité motrice cérébrale<sup>6</sup> (IMC) résulte de lésions cérébrales précoces non évolutives mais qui induisent généralement une évolution des déficiences motrices liées.
- **Maladies dégénératives**<sup>7</sup> : maladies évolutives, souvent d'origine neurologique, impliquant des lésions dans différentes parties du cerveau. Ces lésions provoquent diverses déficiences motrices, sensorielles et cognitives. On y retrouve la maladie de Parkinson, d'Alzheimer, l'accident vasculaire cérébral (AVC), la Sclérose en Plaques, la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) qui est d'origine rétinienne, etc.

**Handicaps par vieillissement** souvent d'origine traumatique ou causés par des maladies survenant plus fréquemment à un âge avancé. La fatigabilité et la perte de force peuvent aussi aggraver un handicap déjà présent ou simplement être à l'origine de nouvelles faiblesses musculaires.

**Effets secondaires** Une source de déficiences n'étant pas directement liées à un handicap sont les effets secondaires de médicaments. Certains effets peuvent impliquer des troubles neurologiques, narcotiques, des douleurs articulaires ou musculaires. Ils ne durent généralement que le temps de la consommation des médicaments.

---

6. <http://www.imc.apf.asso.fr/>

7. <https://www.mmt-fr.org/>

## 4.2 Besoins et désirs de l'utilisateur

Cette section a été rédigée sur base des informations collectées auprès d'Home Based et du centre de revalidation hospitalière d'Ourthe-Amblève (Esneux)<sup>8</sup>. Leur expertise dans la mise en place de systèmes informatiques pour les personnes à mobilité réduite tout en faisant face aux contraintes d'accessibilité a permis de relever les critères importants à prendre en compte.

### 4.2.1 Attitudes face au handicap

L'individu traverse généralement plusieurs étapes dans l'acceptation de son handicap, particulièrement lorsque celui-ci implique une invalidité conséquente. Un processus de deuil<sup>9</sup> se met alors en place au cours duquel six phases se succèdent :

- Le choc initial : réaction de la personne à l'annonce du diagnostic.
- La dénégation, pouvant se transformer en déni. Le patient banalise ce qui lui arrive et paraît détaché de la réalité.
- La révolte : le patient prend conscience de la réalité de son handicap. Il vit sa situation comme une injustice et s'oppose à ses proches et à l'aide qu'on peut lui apporter.
- Le marchandage : le patient minimise les contraintes que lui implique son handicap ou son traitement.
- La tristesse : prise de conscience du devoir d'assumer son handicap, retour à la réalité.
- L'acceptation : récupération d'un équilibre émotionnel. Le patient devient actif, réaliste et s'investit dans sa nouvelle situation.

Ce processus implique que l'utilisateur porteur d'un handicap peut être à certains moments réfractaire à la mise en place de moyens d'interactions alternatifs avec un système informatique. Les étapes de déni, révolte et marchandage peuvent être un frein à sa collaboration et conditionner l'utilisation de certains dispositifs.

### 4.2.2 Expression des besoins et des désirs

Tout comme dans le domaine du génie logiciel, l'attribution d'une modalité d'interaction doit respecter les besoins et les désirs rencontrés par l'utilisateur. Dans le cas d'une personne en perte d'autonomie, cette analyse n'est pas aussi évidente qu'il n'y paraît. En effet, plus le traumatisme subi par l'utilisateur sera soudain et lourd de conséquences, plus les phases de dénégation, révolte et marchandage seront importantes. Il sera alors moins conscient de ce dont il a réellement besoin pour conserver son autonomie. De même, ses désirs vont varier au travers des différentes attitudes qu'il adoptera face à son handicap.

Cette difficulté vient confirmer le besoin de flexibilité dans le processus d'attribution d'une modalité d'interaction, déjà nécessaire pour pouvoir faire face aux différentes possibilités d'évolution d'un handicap.

Dans le cadre des personnes en perte d'autonomie, les *besoins* sont les activités permettant le maintien de cette autonomie à domicile. Parmi celles-ci, on retrouve l'allumage des lampes, l'ouverture des portes, des fenêtres, l'utilisation du téléphone, etc.

Lorsqu'on parle de *désirs*, il s'agit des activités que souhaite pratiquer la personne, dont certaines nécessitent une assistance technologique. Les activités courantes sont la lecture, l'écoute de la radio, l'utilisation de la télévision, des jeux vidéos, etc.

Ces deux critères doivent être pris en compte dans l'attribution d'une modalité d'interaction car certains dispositifs ou certaines méthodes sont moins adaptés que d'autres pour combler un besoin ou satisfaire un désir.

---

8. [https://www.chuliege.be/jcms/c2\\_17532934/fr/site-ourthe-ambleve-esneux](https://www.chuliege.be/jcms/c2_17532934/fr/site-ourthe-ambleve-esneux)

9. <https://www.educationdupatient.be/index.php/education-du-patient/que-vit-le-patient/le-deuil>

# Chapitre 5

## Proposition d'une méthodologie d'attribution

### 5.1 Rappel des objectifs de départ

Cette contribution a pour but de proposer une méthodologie d'attribution de modalités d'interaction à un individu en perte d'autonomie en fonction de ses déficiences organiques. Quatre critères importants repris ci-dessous ont dirigé sa conception et complétion.

**Complétude** Le critère de complétude était surtout important pour les concepts repris dans le modèle, à savoir les tâches (navigation, sélection et entrée textuelle), les catégories de modalités et de déficiences et, dans la mesure du possible, les modalités d'interaction en elles-mêmes. La complétude recherchée restait donc de "haut niveau" afin de privilégier une vue d'ensemble complète à du détail précis mais disparate.

**Niveau de détail (granularité)** Comme expliqué au paragraphe précédent, le niveau de détail devait rester faible pour privilégier une vue générale. Cette décision a été motivée par la volonté d'obtenir un premier résultat sur lequel itérer pour en raffiner la conception et le contenu au cours de travaux ultérieurs et des retours d'utilisation.

**Exhaustivité des cas** Le modèle a aussi été complété dans un souci de couverture maximale des situations d'handicap qu'un individu peut rencontrer. Malgré le niveau de détail limité, l'utilisation de la CIF a permis de prendre en compte un grand nombre de déficiences et de proposer une ou plusieurs solution(s) dans la mesure des résultats obtenus au cours des recherches.

**Evolutivité** Le modèle ne pouvant pas être complet ni validé dans les temps impartis, celui-ci devait faire preuve d'une évolutivité idéale. Pour ce faire, il a été décidé d'associer les concepts d'arbre de décision et de grille d'attribution en deux dimensions. Le tableau ci-dessous reprend les avantages et inconvénients de ces deux concepts.

Afin de tirer parti de leurs avantages respectifs, ils seront mis en oeuvre de la façon suivante :

- Un arbre de décision sera utilisé comme guide de lecture par défaut pour conserver un repère lors du parcours de la première partie de la grille d'attribution. Son but ne sera donc pas l'attribution des technologies, comme c'est le cas dans l'ouvrage d'Anson [Anson, 1997] présenté dans l'état de l'art.
- Une grille en deux dimensions sera utilisée pour l'attribution des modalités d'interaction car elle offre l'avantage de pouvoir être facilement modifiée ou détaillée tout en conservant sa structure. De plus, le facteur évolutif (régressif ou progressif) des déficiences en fonction de leur origine amène le besoin de disposer d'une liberté totale de parcours.

<b>Grille d'attribution</b>	<b>Arbre de décision</b>
- Pas de sens de parcours explicite	+ Traduit un sens de parcours de par sa nature
+ Structure conservée en cas de modification du niveau de détail ou du contenu	- Perd sa structure en cas de modification du niveau de détail ou du contenu
+ Liberté de parcours en fonction des besoins et circonstances	- Possibilités de parcours limitées

Cette combinaison des deux concepts permet de pallier leurs inconvénients respectifs, notamment en ce qui concerne le sens de parcours.

La section suivante consistera à présenter les différentes parties de la grille proposée. Celle-ci a été construite en mettant en perspective les informations collectées au niveau des modalités d'interaction présentées au chapitre 3 avec celles des déficiences organiques reprises au chapitre 4. L'agencement et le contenu de chaque partie sera commenté de manière à ce que le lecteur en comprenne la logique de construction.

## 5.2 Modèle d'attribution

### 5.2.1 Partie 1 : déficiences impactant l'utilisation du canal gestuel

**Guide de lecture** Un arbre de décision a été élaboré afin d'illustrer la logique de conception de cette partie de la grille et de servir de guide de lecture par défaut. Son rôle **n'est pas** de contraindre le sens de parcours ou l'attribution des modalités. Le sens (arbitraire) attribué à l'arbre correspond à un parcours suivant une régression générale de l'état de l'utilisateur.

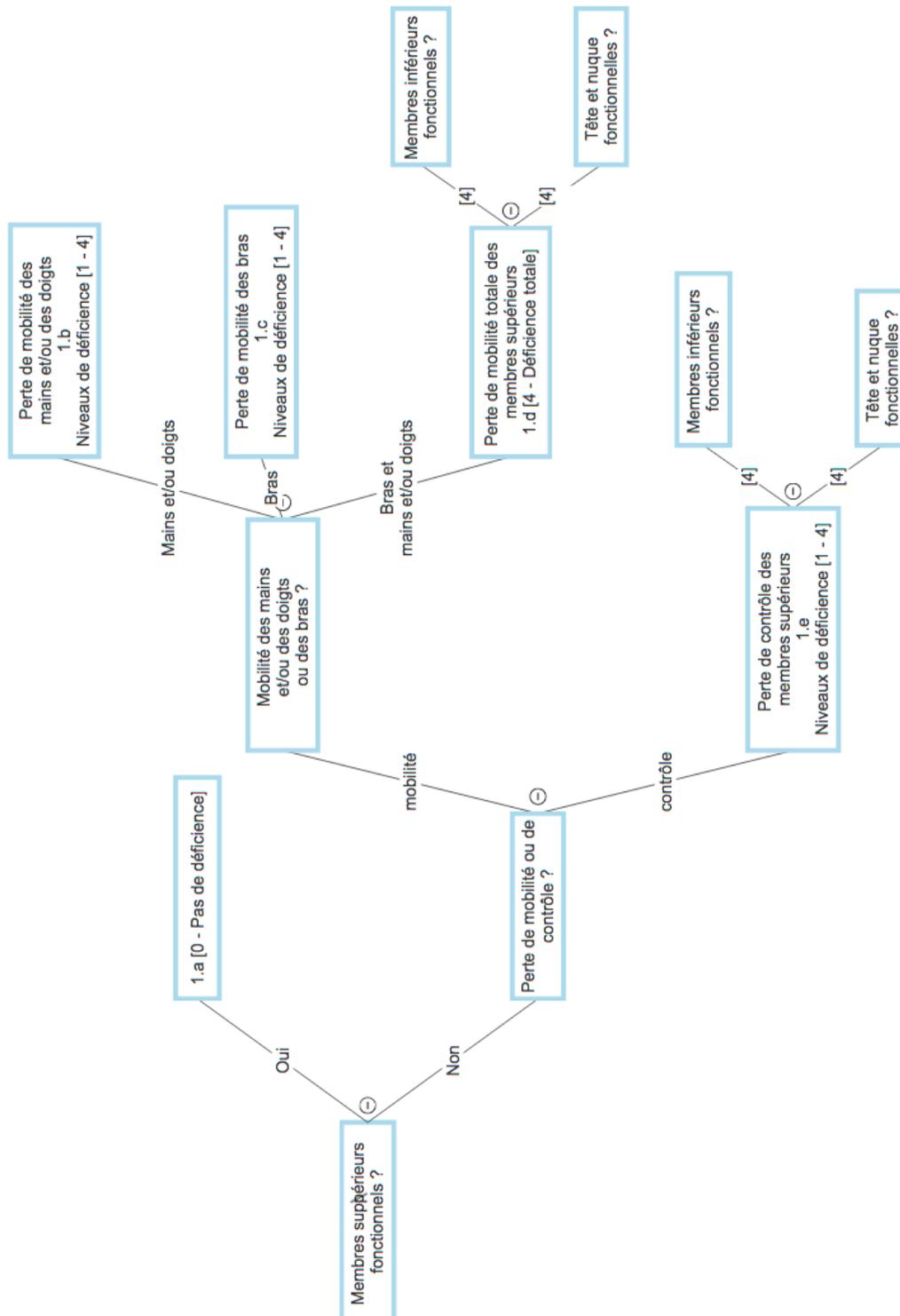


FIGURE 5.1 – Arbre de décision (première partie)

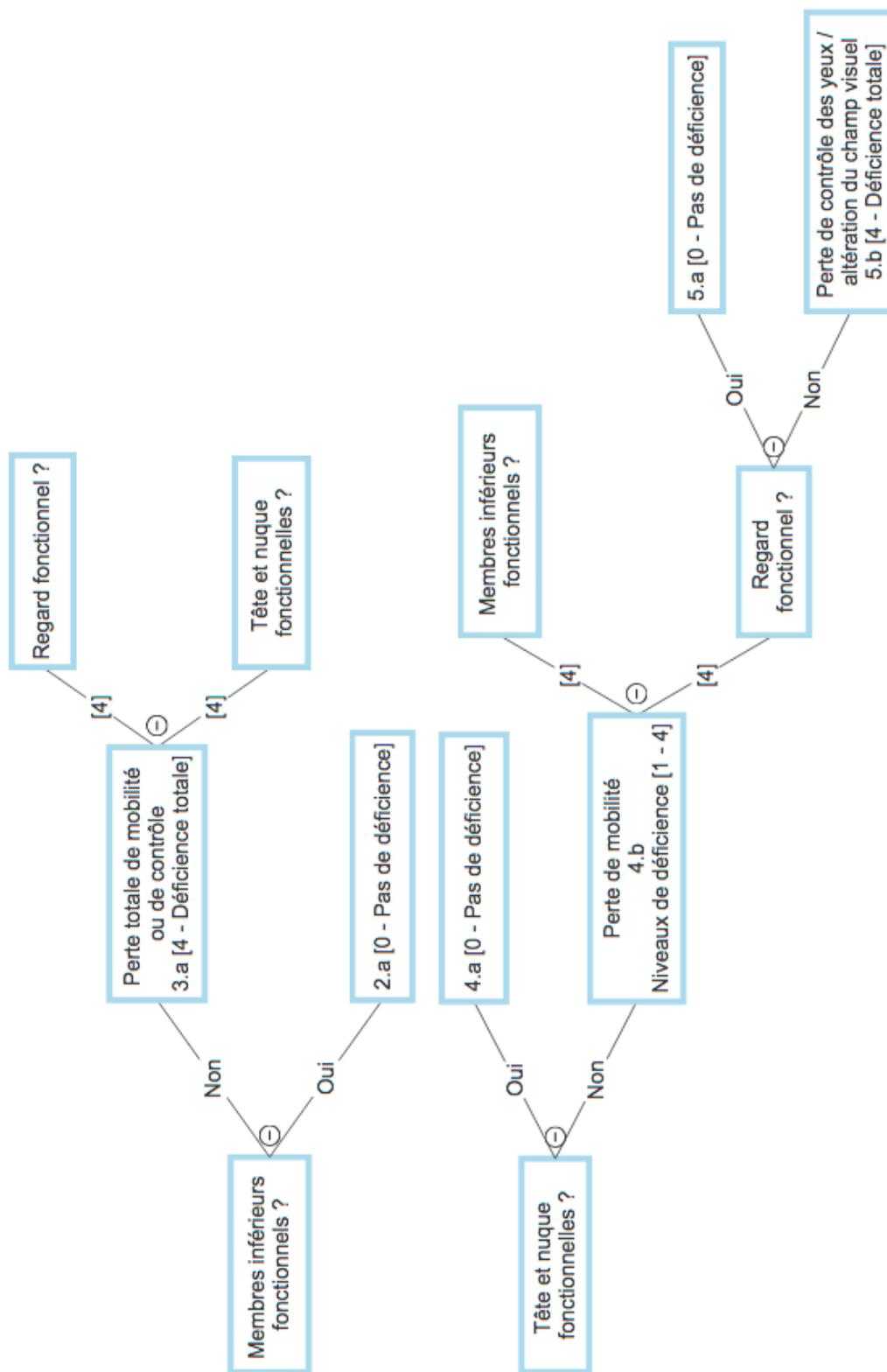


FIGURE 5.2 – Arbre de décision (deuxième partie)

Les feuilles se terminant par un "?" signifient le renvoi à un autre fragment de l'arbre pour continuer le parcours de la grille. Certaines alternatives présentent une condition identique. Cet abus de formalisme signifie que l'utilisateur a le libre choix entre les deux alternatives.

## Grille d'attribution :

DEFICIENCES FONCTIONS ORGANIQUES		POINTAGE	BALAYAGE	SELECTION DIRECTE	RECONNAISSANCE AUTO. DE LA PAROLE
1. Membres supérieurs					
a. Fonctionnels					
[0 - Pas de déficience]	<Souris, NAV/SELECT>	/	<Clavier AZERTY (Ergonomique), TXT>	/	
b. Perte de mobilité des mains et/ou des doigts (arthrite, faiblesse, fatigabilité, raideur musculaire, paralysie)					
[1 - Déficience légère]	<Souris, NAV> + PointAssist ou Pointing magnifier ou Click-and-Cross ; <Souris, SELECT> + Dwell-clicking	/	<Clavier AZERTY (Ergonomique), TXT> + Sticky Keys ou Repeat Keys	/	
[2 - Déficience modérée]	<Trackball, NAV/SELECT>	/	idem 1.b [1] + Logiciel de prédiction des mots	/	
[3 - Déficience grave]	<Trackball, NAV> ; <Trackball, SELECT> + Dwell-clicking ou switch mécanique ; Clavier virtuel statique ou dynamique	/	<Clavier programmable, TXT> ou <Clavier accord, TXT>	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>	
[4 - Déficience totale]	/	<Contacteur tampon rond, double, en ruban ou jelly bean, NAV/SELECT> ; Clavier virtuel par balayage	Si déficience à une seule main : <Clavier optimisé à une main, TXT>		
c. Perte de mobilité des bras (idem 1.b)					
[1 - Déficience légère]	<Souris, NAV> + PointAssist ou Pointing magnifier ou Click-and-Cross ; <Souris, SELECT>	/	<Clavier AZERTY réduit, TXT> + clavier numérique annexe	/	
[2 - Déficience modérée]	<Trackpad, NAV/SELECT> ou <Joystick digital, NAV/SELECT>	/	idem 1.c [1] + repose bras/poignet	/	
[3 - Déficience grave]	<Trackpad, NAV/SELECT> ou <Joystick digital, NAV/SELECT> Clavier virtuel statique ou dynamique	/	<Clavier programmable, TXT> ou <Clavier accord, TXT>	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>	
[4 - Déficience totale]	/	<Contacteur "plate-forme", sensitif ou au pouce, NAV/SELECT> ; Clavier virtuel par balayage	Si déficience à un seul bras : <Clavier optimisé à une main, TXT>		

d. Perte de mobilité totale des membres supérieurs							
[4 - Déficience totale] 1.b+1.c	<Souris ou Joystick pour les pieds, NAV/SELECT> ou <Joystick pour le menton, NAV/SELECT> ; Clavier virtuel statique ou dynamique	<Contacteur tampon rond, mou, jelly bean, pour menton ou à pied, NAV/SELECT> ; Clavier virtuel par balayage	<Clavier par stick buccal, TXT>	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>			
e. Perte de contrôle des membres supérieurs (excès de tonus musculaire, athétose, tremblements)							
[1 - Déficience légère]	<Souris, NAV> + AngleMouse ou Pointing magnifier ou Click-and-Cross; <Souris, SELECT> + ClickLock, Dwell-clicking ou Steady Clicks	/	<Clavier AZERTY (Ergonomique), TXT> + Sticky Keys, Bounce Keys ou Slow Keys	/			
[2 - Déficience modérée]	<Joystick isométrique manuel, NAV/SELECT> ou <Souris à touches NAV/SELECT>	/	<Clavier AZERTY étendu, TXT> + guide-doigts	/			
[3 - Déficience grave]	<Joystick isométrique manuel, NAV> ; <Joystick isométrique manuel, SELECT> + Dwell-clicking ou switch mécanique ; Clavier virtuel dynamique	/	<Clavier à membranes, TXT> + Logiciel de conception de membranes ou Si déficience à un seul des 2 membres : <Clavier optimisé à une main, TXT>	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>			
[4 - Déficience totale]	idem 1.d [4]						
2. Membres inférieurs							
a. Fonctionnels							
[0 - Pas de déficience]	<Souris ou Joystick pour les pieds, NAV/SELECT> + Clavier virtuel statique ou dynamique	<Contacteur tampon rond, jelly bean, ou à pied, NAV/SELECT> + Clavier virtuel par balayage	/	/			
3. Membres inférieurs et supérieurs							
a. Perte totale de mobilité ou de contrôle							
[4 - Déficience totale]	<Joystick pour le menton, NAV/SELECT> ou <Souris pour la bouche, NAV/SELECT> ou <Tracker de tête infrarouge ou bluetooth, NAV> + Dwell-clicking, switch mécanique ; Clavier virtuel statique ou dynamique	<Switch pneumatique, pour menton, tampon rond, mou ou double, NAV/SELECT> + Support physique rigide ou en collier ; Clavier virtuel par balayage	<Clavier par stick buccal, TXT>	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>			

**Commentaires (1)** Toute la première partie du modèle d'attribution a été complétée en tenant compte de deux principes fondamentaux :  
— Attribuer en priorité une modalité d'interaction faisant intervenir un maximum de fonctions encore valides pour l'utilisateur. Par exemple, un tracker oculaire ne sera proposé qu'en cas d'immobilité totale des 4 membres et de la tête.  
— Rentabiliser au maximum les modalités déjà utilisées. Pour ce faire, le passage d'un niveau de déficience à un autre se concrétise d'abord par l'attribution d'aides logicielles ou matérielles avant de proposer d'investir dans un autre dispositif alors plus onéreux.

4. Tête et nuque		idem 3.a [4]			
a. Fonctionnels		idem 3.a [4]			
[0 - Pas de déficience]		idem 3.a [4]			
b. Perte de mobilité (faiblesse musculaire, raideur, paralysie, dystonie, tics...)					
[1 - Déficience légère]	idem 3.a [4]	idem 3.a [4] + Adaptation délai et taux de répétition	/	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>	
[2 - Déficience modérée]	<Souris pour la bouche, NAV/SELECT> ou <Tracker de tête infrarouge ou bluetooth, NAV> + Dwell-clicking ou switch bucal ; Clavier virtuel statique ou dynamique	<Switch pneumatique ou par morsure, NAV/SELECT> + Support physique en collier ; Clavier virtuel par balayage	/	<Microphone de table ou en réseau, NAV/SELECT/TXT>	
[3 - Déficience grave]	<Tracker du regard infrarouge ou vidéo, NAV/SELECT> + Dwell-clicking ; Clavier spécialisé pour trackers oculaire	<Contacteur sonore, infrarouge ou musculaire, NAV/SELECT> ; Clavier virtuel par balayage	/	<Microphone de table ou en réseau, NAV/SELECT/TXT>	
[4 - Déficience totale]	/	<Contacteur sonore ou musculaire, NAV/SELECT>	/	<Microphone de table ou en réseau, NAV/SELECT/TXT>	
[4] - Déficience totale (immobilisation articulaire générale - le visage dirigé à la verticale)]					
5. Regard					
a. Fonctionnel					
[0 - Pas de déficience]	<Tracker du regard infrarouge ou vidéo, NAV/SELECT> + Dwell-clicking ; Clavier spécialisé pour trackers oculaire	<Contacteur infrarouge, NAV/SELECT> ; Clavier virtuel par balayage	/	<Microphone de table ou en réseau, NAV/SELECT/TXT>	
b. Perte de contrôle des yeux (nystagmus, paralysie oculo-motrice) ou perte/altération du champ visuel					
[4 - Déficience totale]	<Tracker de la langue, NAV/SELECT> + détecteur de clic par cliquement de dents	<Contacteur sonore ou musculaire, NAV/SELECT> + Clavier virtuel par balayage	/	<Microphone de table ou en réseau, NAV/SELECT/TXT>	

**Commentaires (2)** Les modalités sont décrites telles que présentées au chapitre 3, sous le format  $\langle d, t \rangle$  où

- d = dispositif physique utilisé,
  - t = tâche(s) réalisée(s) à l'aide du dispositif d (NAV = navigation, SELECT = sélection, TXT = entrée textuelle).
- Ce format est similaire à celui présenté dans l'état de l'art (chapitre 2) où seule la tâche effectuée est reprise du système de représentation. Dans certaines cases, des aides logicielles ou matérielles sont associées à l'usage d'une modalité au moyen du symbole "+" ou proposées de manière indépendante comme les claviers virtuels.

Les "/" dans les cases signifient que la catégorie de modalité concernée ne propose pas de solution adaptée spécifiquement au niveau de déficience rencontré.

## 5.2.2 Partie 2 : déficiences liées à la voix et à la parole

Grille d'attribution :

DEFICIENCES FONCTIONS ORGANIQUES	RECONNAISSANCE AUTO. DE LA PAROLE
6. Parole et voix	
a. Fonctionnels	
[0 - Pas de déficience]	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>
b. Perte d'articulation et de fluidité (dysarthrie, bégaiement, bradylalie)	
[1 - Déficience légère]	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>
[2 - Déficience modérée]	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT> + Logiciel d'entrée textuelle par reconnaissance acoustique
[3 - Déficience grave]	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT> +
[4 - Déficience totale]	Logiciels de pointage et d'entrée textuelle par reconnaissance acoustique
c. Perte de la voix (aphonie, dysphonie)	
[1 - Déficience légère]	<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>
[2 - Déficience modérée]	<Microphones col de cygne, cravatte ou sur casque audio NAV/SELECT/TXT>
[3 - Déficience grave]	<Microphones de table ou col de cygne,
[4 - Déficience totale]	NAV/SELECT/TXT> + Laryngophone

**Commentaires** Seules les modalités de reconnaissance automatiques de la parole (RAP) sont concernées par les déficiences vocales et articulatoires.

L'attribution de ces modalités peut aussi être influencée par des déficiences liées au canal gestuel. Certains micros exigent un mouvement de la part de l'utilisateur pour se positionner correctement ou accrocher le microphone. La RAP est une alternative presque indéfectible en cas de déficience impactant l'utilisation du canal gestuel. Cependant, cette solution n'est pas à envisager en priorité si on tient compte des principes énoncés deux pages plus haut.

La distinction entre déficience grave et totale au niveau vocal ou articulatoire n'a pas été concrétisée à cause du manque d'informations recueillies.

### 5.2.3 Partie 3 : déficiences sensorielles (prémices)

Grille d'attribution (déficiences liées au canal visuel) :

DEFICIENCES FONCTIONS ORGANIQUES	POINTAGE	BALAYAGE	SELECTION DIRECTE	RECONNAISSANCE AUTO. DE LA PAROLE
7. Vision				
a. Perte/altération du champ visuel (stocome, DMILA, vision trouble, canal)				
[1 - Déficience légère]	Pointing magnifier, Visual-Motor magnifier, boutons programmables	Méthode de balayage audio* Support physique accroché à un meuble (lit, bureau, chaise,...) ou support physique en collier	<Clavier simplifié à grandes touches, TXT> ou <Clavier AZERTY, TXT> + Guide doigts ou <Clavier à membranes, TXT> + Logiciel de conception de membranes	/
[2 - Déficience modérée]			<Clavier accord, TXT> ou <Clavier programmable, TXT> ou <Clavier AZERTY, TXT> + Couverture en braille	
[3 - Déficience grave]	/			<Microphone de table, en réseau ou col de cygne, NAV/SELECT/TXT>
[4 - Déficience totale]				

\* Non présentée au chapitre 3

**Commentaires** Cette troisième partie de la grille a pour but de présenter des modalités alternatives et des aides pour pallier les déficiences sensorielles. Elle peut être amenée à être utilisée comme complément à la première car des déficiences sensorielles peuvent survenir dans le même temps que des déficiences liées au canal gestuel.

Les modalités de sortie n'ont pas été concernées par la recherche menée au cours de ce travail. C'est pourquoi, le contenu de cette partie consiste en des modalités d'entrée et aides adaptées dans le cas de déficiences visuelles. Pour la même raison, l'attribution de modalités et aides permettant explicitement de pallier des déficiences auditives n'a pas pu être concrétisée.

Les distinctions entre les niveaux de déficience "légère" et "modérée" ainsi que celle entre les niveaux "grave" et "totale" n'ont pas été concrétisées étant donné le manque d'informations recueillies.

## 5.3 Regard critique et justification des choix

### 5.3.1 Conception de la grille

La grille a été subdivisée en trois parties en suivant la même découpe que celle présentée pour l'étude des déficiences au chapitre 4. Cette conception permet une structure claire et facilement maintenable tout en offrant une possibilité de parcours adaptée aussi bien à la régression qu'à la progression des déficiences.

De plus, une éventuelle augmentation du niveau de détail des déficiences abordées ne demandera que l'insertion de nouvelles lignes, et l'enrichissement des catégories de modalités d'interaction l'insertion de nouvelles colonnes. Ce caractère extensible, évolutif de cette conception permettra une adaptation rapide à l'évolution technologique des modalités.

On peut remarquer une similitude de contenu entre une déficience extrême portant sur un groupe de membres et l'absence de déficience d'un autre groupe de membres. Par exemple, l'absence de déficience au niveau de la tête et de la nuque (4.a [0]) se voit proposer la même combinaison de modalités et d'aides qu'une perte totale de mobilité ou de contrôle au niveau des membres inférieurs et supérieurs (3.a [4]). La présence de ce doublon est causée par le fait qu'une déficience totale au niveau des quatre membres implique la nécessité de recourir à l'usage des mouvements de la tête et de la nuque, en supposant une absence de déficience à ce niveau. Les modalités et aides suggérées sur cette ligne correspondent donc à celles suggérées en cas d'absence de déficience dans la mobilité de la tête et de la nuque.

Ce doublon est maintenu pour conserver chaque étape dans l'évolution de déficiences. Il s'agit là d'un choix arbitraire de conception lié à la signification attribuée au niveau [0 - *Pas de déficience*]. Celle-ci peut être résumée par la phrase suivante : "*Voici les modalités recommandées pour être utilisées avec la fonction considérée si celle-ci ne présente aucune déficience*".

A titre de comparaison, on pourrait attribuer la signification suivante au niveau [4 - *Déficience totale*] : "*Voici les modalités recommandées pour être utilisées de telle manière à faire intervenir un maximum de compétences au niveau des fonctions non déficientes*".

### 5.3.2 Contenu de la grille

Comme déjà mentionné dans les commentaires, la première partie du modèle a été complétée en appliquant deux principes clés.

Le premier consiste à attribuer en priorité une modalité d'interaction faisant intervenir l'utilisation d'un maximum de compétences physiques encore valides pour l'utilisateur. Ce principe est appliqué dans les centres de réhabilitation (dont celui d'Esneux) pour habituer l'utilisateur à exploiter ses fonctions encore valides de manière optimale.

Le second concerne la rentabilisation des technologies dont dispose déjà l'utilisateur souffrant d'une déficience. La motivation est cette fois d'ordre économique pour ne remplacer le matériel que lorsque cela s'avère vraiment nécessaire. Le processus d'attribution d'un dispositif peut être résumé comme suit :

- 0 - Pas de déficience : Proposition d'un dispositif x
- 1 - Déficience légère : Ajout d'une aide logicielle ou matérielle pour utiliser le dispositif x
- 2 - Déficience modérée : Proposition d'un nouveau dispositif y
- 3 - Déficience grave : Ajout d'une aide logicielle ou matérielle pour utiliser le dispositif y ou changement de catégorie de modalité
- 4 - Déficience totale : Changement de catégorie de modalité et/ou proposition d'un dispositif dont l'utilisation fait intervenir d'autres fonctions non déficientes.

Ce processus n'est pas toujours applicable à la lettre en pratique mais permet d'établir le schéma à suivre dans la mesure du possible pour appliquer le deuxième principe.

A trois reprises dans la première partie de la grille, les trois premiers niveaux de déficience sont ignorés pour directement aborder la déficience totale. Cela s'explique dans les deux premiers cas (1.d et 3.a) par une perte de mobilité ou de contrôle totale, et donc une déficience totale. Le troisième cas (la perte de contrôle des yeux) s'explique par un manque d'information compliquant un échelonnage des niveaux de déficiences.

L'absence d'attribution de dispositifs à écran tactile dans les modalités de pointage n'est pas un oubli mais un choix. En effet, une tablette ou un smartphone est plus complexe qu'une simple modalité d'interaction car indissociable du système utilisé. Leur considération en tant que modalité au sens strict étant remise en question, il a été jugé préférable d'approfondir la question avant toute proposition d'attribution. Egalement, l'absence d'autres modalités ou aides répertoriées au chapitre 3 s'explique par le manque d'information permettant de justifier leur présence dans la grille (par exemple l'adaptation de la disposition des touches d'un clavier, support physique flexible pour contacteurs,...).

La caractéristique majeure de cette grille est qu'elle a été complétée de manière totalement empirique. Les attributions de modalités et d'aides (ou l'absence d'attribution caractérisée par un "/") peuvent être justifiées par la concordance des contenus des colonnes "Fonctions motrices/sensorielles impliquées/concernées" et "Handicaps (moteurs) concernés", respectivement des tableaux de modalités et d'aides, avec le contenu de la colonne "Altérations subies" des tableaux de déficiences organiques. Cependant, le contenu de certaines cases de ces colonnes n'étant pas formellement vérifié, la concordance elle-même et donc l'attribution des modalités demeurent empiriques. Etant donné le temps imparti, le but du travail n'est pas d'aboutir à une solution finale d'efficacité prouvée mais de poser les fondements en proposant une direction à adopter pour de futurs travaux. Ceux-ci devront alors aboutir à un résultat utilisable en pratique.

# Chapitre 6

## Perspectives des facteurs sociaux et d'environnement

Comme pour la dernière section du chapitre 4, les informations recueillies auprès d'Home Based et du centre de revalidation d'Esneux vont permettre de poser les bases de la réflexion par rapport aux facteurs sociaux et d'environnement. Il s'agit donc d'un survol rapide pour faire prendre conscience au lecteur de l'importance de la prise en compte de ces facteurs. Leur évaluation devra se faire avec celle des besoins et désirs de l'utilisateur afin que ces trois contraintes puissent être considérées lors de l'attribution d'une modalité en fonction des déficiences subies.

### 6.1 Contexte social de l'utilisateur

Le contexte social dans lequel se trouve un utilisateur atteint d'un handicap va jouer un rôle dans la décision d'attribution d'une modalité. En effet, le maintien de son autonomie dépend fortement de l'accès aux commandes des systèmes utilisés dans ce but. Cet accès peut parfois être compliqué voire compromis par une nécessité d'apprentissage, un problème d'emplacement ou de position de l'utilisateur ou du dispositif, une panne technique, etc. L'utilisateur handicapé ne pourra pas toujours faire face à ces problèmes sans une intervention extérieure.

#### 6.1.1 L'entourage proche

Pour les personnes lourdement handicapées, la présence quotidienne d'un membre de la famille à la maison (époux/épouse, père, mère,...) est considérée comme une aide précieuse à l'utilisation ou la mise en place d'un dispositif. Quelques cas d'exemple :

- Un individu immobile dans son lit ne parvient plus à atteindre un contacteur ayant été déplacé trop loin de sa portée. Un membre de la famille peut alors remettre le dispositif dans une position adaptée.
- Une personne âgée ayant besoin d'une application sur tablette ou smartphone peut se faire aider par un membre de la famille maîtrisant les nouvelles technologies.
- En cas de panne d'un dispositif utilisé par une personne lourdement handicapée, un membre de la famille pourra prendre les dispositions nécessaires pour le réparer, le remplacer ou contacter une aide extérieure, professionnelle ou non.

En résumé, un membre de l'entourage peut intervenir pour aider l'utilisateur dans l'apprentissage de l'utilisation d'un dispositif, la résolution de problèmes d'accessibilité physique ou de problèmes techniques. Certains appareils étant plus sensibles que d'autres à ces critères, la prise en compte de l'entourage proche s'avère pertinente.

## 6.1.2 L'assistance professionnelle

Comme déjà abordé au début du chapitre 3, la commercialisation de certains dispositifs prévoit une assistance professionnelle pour l'installation ou la maintenance de l'appareil. On distingue deux secteurs de commercialisation :

- L'électronique grand public : les appareils sont moins onéreux mais ne proposent pas de service d'installation ou d'après vente. Ils sont cependant plus simples à utiliser.
- Les technologies d'assistance (commandes d'ordinateurs) : ces appareils sont conçus spécifiquement pour des personnes handicapées. Ils sont mieux adaptés mais aussi plus chers, car fournissent généralement un service d'installation et/ou d'après vente pour les éventuelles réparations ou mises à jour.

Outre le service fourni par les concepteurs des technologies utilisées, d'autres aides sociales professionnelles peuvent être mises à disposition de l'utilisateur. On retrouve parmi celles-ci les aides et soins à domicile et les professionnels de la santé (infirmiers, ergothérapeutes). Ces aides peuvent le cas échéant pallier l'absence d'un proche au domicile, malgré leur présence et possibilités d'intervention plus limitées.

## 6.2 Environnement et lieu de vie

Une autre catégorie principale de facteurs à considérer concerne l'environnement et le lieu de vie quotidien de l'utilisateur. Une simple altération du milieu peut nuire à la facilité d'accès d'une modalité et donc remettre en question son attribution. Cette section se limitera à présenter quelques critères principaux à évaluer impérativement au cours d'un processus complet d'attribution d'une modalité.

**L'aménagement mobilier** La configuration des meubles doit pouvoir supporter l'utilisation des modalités envisagées par rapport aux autres contraintes d'accessibilité. Quelques exemples d'exigences d'environnement :

- Une surface plane suffisamment large sur un bureau ou une table est requise pour utiliser un clavier et une souris
- Une chaise roulante ou un lit spécialisé sont nécessaires pour l'utilisation de certains supports de contacteurs

**La luminosité** Certains détecteurs de mouvements ou du regard fonctionnant par rayonnement infrarouge sont sensibles à la lumière ambiante. Il faut donc veiller à ajuster la luminosité si l'usage de ces dispositifs est adopté.

**Le bruit** Les dispositifs de reconnaissance automatique de la parole (microphones) sont généralement très sensibles au bruit ambiant comme ceux émis par la radio ou la télévision. Bien que certains modèles soient plus efficaces pour filtrer les sons parasites, leur utilisation ne sera pas recommandée dans un environnement généralement bruyant ou lorsque des données sensibles doivent être transférées.

L'évaluation des facteurs sociaux et d'environnement se fait essentiellement sous la forme d'une enquête contextuelle dont les procédés ont déjà été mis au point par la profession de l'ergothérapie. Il serait intéressant d'étudier puis de comparer ces méthodes d'évaluation avec celles de l'enquête contextuelle dans le domaine de l'interaction homme-machine. Cette réflexion peut être le point de départ d'une étude comparative qui permettrait de proposer un processus parfaitement adapté à l'attribution d'une modalité d'interaction.

# Chapitre 7

## Conclusion et perspectives

### 7.1 Réponses apportées aux questions de recherche

Pour rappel, les questions de recherche soulevées dans l'introduction sont les suivantes :

1. Comment catégoriser les modes d'interaction et en structurer les informations qui permettront de justifier leur attribution ?
2. Comment aborder la problématique du handicap dans le processus d'attribution d'un mode d'interaction ?
3. Quelle méthodologie adopter pour proposer efficacement un mode d'interaction à un individu en perte d'autonomie ?

Les différentes parties de la recherche ont eu pour objectif de proposer une réponse à chacune de ces trois questions.

Tout d'abord, une étude approfondie des modalités d'interaction a débouché sur une double contribution :

1. La conception de deux types de tableaux. Le premier synthétise les caractéristiques d'une modalité d'interaction et le second celles d'une aide logicielle ou matérielle. Leur caractère générique leur permet d'être adaptés pour tout type de modalité et d'aide.
2. Le rassemblement et la mise en forme d'informations provenant d'un grand nombre de sources aux origines et objectifs variés. Sont entre autres reprises les propriétés des media d'interaction (système de représentation, tâche, fonction de transfert,...) présentées dans l'état de l'art.

Malgré une complétion empirique à certains endroits (déjà mentionnée dans les critiques de cette partie), cette étude apporte une réponse à la première question de recherche.

Ce travail a été rendu complexe par le manque de formalisme dans ce domaine de recherche et par les multiples définitions données par différents acteurs de la recherche pour les mêmes concepts. Ces difficultés ont amené à prendre un parti dans l'état de l'art pour la définition donnée aux concepts utilisés en rapport avec les modalités d'interaction. Le choix des définitions a été guidé par l'objectif de cette première question.

Ensuite, l'utilisation de la CIF a permis une première étude formelle de la problématique du handicap à l'origine d'une perte d'autonomie chez l'utilisateur. L'analyse des déficiences des fonctions organiques a par la suite permis d'établir une correspondance entre leurs effets et les fonctions motrices et sensorielles intervenant dans l'utilisation des modalités. Ces deux activités ont apporté une réponse à la deuxième question.

Enfin, la conception d'un modèle d'attribution permettant d'attribuer une modalité d'interaction à un utilisateur en perte d'autonomie propose une réponse à la troisième question. Une critique du résultat présenté a déjà été faite au chapitre précédent. Malgré son caractère empirique et un contenu relativement limité, cette grille offre de belles perspectives d'évolution. Ces avancées devront être menées conjointement à une augmentation de contenu de la revue des modalités et à une étude plus approfondie des autres contraintes d'accessibilité.

## 7.2 Travaux futurs

Le travail réalisé dans ce document pose les bases pour de futurs travaux de recherche dans le domaine de l'accessibilité d'un système informatique pour les personnes en perte d'autonomie. Un certain nombre de pistes pour chaque partie développée sont encore à explorer. Celles-ci sont résumées dans les sous-sections suivantes.

### 7.2.1 Modalités d'interaction

**Exploitation de nouvelles sources** Quelques références intéressantes ont été découvertes sur le tard et n'ont pas pu être pleinement exploitées :

- Les *factsheets* d'AbilityNet<sup>1</sup> : un ensemble de conseils et d'informations sur les manières dont le numérique peut être appliqué au quotidien des personnes victimes d'handicaps.
- Les dossiers de la Fondation Garches<sup>2</sup> (Plateforme Nouvelles Technologies de l'hôpital Raymond Poincaré) : une série d'états de l'art, de tableaux récapitulatifs et de présentations d'outils dont certaines ont déjà été en partie consultées pour ce travail [Pouplin et al., 2016], [Pouplin and Cabanilles, 2015], [Seeberger et al., 2015].
- Le site *Inclusive Technology*<sup>3</sup>, qui propose un contenu très varié en matière de dispositifs physiques, d'aides logicielles et matérielles à la communication et des produits plus spécifiques à un public ou une technologie donnée.
- Le site *Accessible Technologies Observatory*<sup>4</sup> présente un catalogue de technologies d'assistance indépendant des produits commercialisés. Il propose entre autres un comparateur de produits et une liste d'outils d'accessibilité.

Alors que ce travail de recherche se dirige vers une méthodologie d'attribution, les objectifs poursuivis par les travaux présentés ci-dessus sont principalement la compilation de technologies d'assistance et la mise à disposition de bonnes pratiques d'utilisation. Ces ressources pourraient venir enrichir et préciser l'étude des modalités d'interaction de ce document.

**Signaux bio-électriques** Les canaux de communication concernés par les modalités présentées sont ceux de la voix, du geste et du regard. Mis à part la mention d'un contacteur par activité musculaire, aucune modalité exploitant les signaux bio-électrique n'a été reprise. Des travaux de recherche ont été réalisés à ce sujet et devraient faire l'objet d'une étude particulière.

**Modalités de sortie (ordinateur → humain)** Comme le montre la catégorisation utilisée dans ce document, les modalités et media de sortie n'ont pas fait l'objet d'une étude spécifique. Les seuls aspects abordés qui impliquent les fonctions sensorielles sont les feedbacks sonores, visuels et tactiles de certains dispositifs.

---

1. [www.abilitynet.org.uk/factsheets](http://www.abilitynet.org.uk/factsheets)
2. [www.handicap.org/?page\\_id=225](http://www.handicap.org/?page_id=225)
3. [www.inclusive.co.uk](http://www.inclusive.co.uk)
4. [www.tecnoaccessible.net/en](http://www.tecnoaccessible.net/en)

En conséquence, le modèle d'attribution n'aborde pas les modalités de sortie permettant de pallier une déficience sensorielle. Une étude complémentaire introduisant de nouvelles catégories de modalités basées sur la réception des informations devra être menée pour pouvoir compléter cette partie du modèle. Un bon point de départ serait de repartir de l'ouvrage *Computer Access for People with Disabilities* de R. Simpson [Simpson, 2013] qui aborde aussi en détail la problématique de réception d'informations altérée par les déficiences sensorielles.

**Communication améliorée et alternative (CAA)** La CAA (ou AAC pour *Alternative and Augmentative Communication*) est un terme générique qui reprend les méthodes de communication alternatives (gestes, symboles, synthèses vocales, etc.) à destination des personnes atteintes de divers troubles de la communication. L'objectif de ces méthodes est d'améliorer l'intégration sociale ou professionnelle ainsi que le développement personnel (apprentissage, autonomie ou autre). On peut considérer la plupart des outils attribués en cas de déficiences dans le modèle comme de la CAA avec assistance technique.

Explorer explicitement le domaine de la CAA permettrait d'enrichir les résultats obtenus au cours des précédentes recherches avec des informations cohérentes. Les sites web AbilityNet et Inclusive Technology reprennent cette thématique dans leur contenu respectif.

## 7.2.2 Incapacités et déficiences

**Autres fonctions organiques** Certaines fonctions organiques, dont celles de l'attention et de l'audition, doivent encore faire l'objet d'une étude de déficiences en vue d'une intégration dans la grille d'attribution.

**Collaboration avec le secteur de la santé** Pour approfondir les recherches entamées sur base de la CIF, une collaboration soutenue avec le secteur de la santé s'avère essentielle. Seuls les corps de métier amenés à travailler avec des patients en perte d'autonomie (kinésithérapeutes, ergothérapeutes,...) pourront fournir l'expertise et la connaissance nécessaires pour une étude complète des déficiences et de leurs altérations.

**Elaboration d'un questionnaire** Il existe plusieurs méthodologies pour évaluer les déficiences d'un individu. L'une d'entre elles, bien connue des ergothérapeutes, est l'évaluation par questionnaire. Il existe des outils permettant de créer des formulaires de recueil de données sur base des catégories de la CIF<sup>5</sup>. En collaboration avec un ergothérapeute, on pourrait envisager la conception d'un tel questionnaire basé sur les fonctions organiques retenues pour le modèle d'attribution. Les résultats obtenus permettraient d'automatiser une partie du processus d'attribution des modalités ou d'effectuer d'autres traitements sur les données recueillies.

## 7.2.3 Améliorations et validation du modèle d'attribution

**Déficiences sensorielles** Un premier point à améliorer est l'attribution de modalités et d'aides dans le cas de déficiences sensorielles (visuelles, auditives, voir tactiles). De nouvelles recherches orientées sur les modalités de réception d'information conçues pour pallier ce type de déficiences devront être menées afin d'enrichir les catégories déjà étudiées (voir "Modalités de sortie" en 7.2.1).

**Déficiences cognitives** On pourrait envisager une quatrième partie à la grille concernant les déficiences cognitives. Celle-ci serait conçue pour être utilisée de la même manière que pour les déficiences sensorielles, c'est à dire en complément de la première partie.

---

5. [www.icf-core-sets.org/fr/](http://www.icf-core-sets.org/fr/)

**Tablettes et smartphones** Comme expliqué à la suite de la présentation du modèle, les tablettes et smartphones sont plus que de simples modalités de pointage. Considérées comme telles dans ce document, une réflexion complémentaire au sujet de leur catégorisation semble nécessaire avant d'en tenir compte dans le modèle d'attribution.

**Validation du modèle** Afin d'obtenir une première version complète et opérationnelle du modèle, plusieurs étapes sont encore nécessaires. Une ébauche d'un processus de validation est proposée ci-dessous. Celle-ci pose les lignes directrices et la marche à suivre pour mener les futurs travaux qui permettront d'aboutir à une première version valide du modèle.

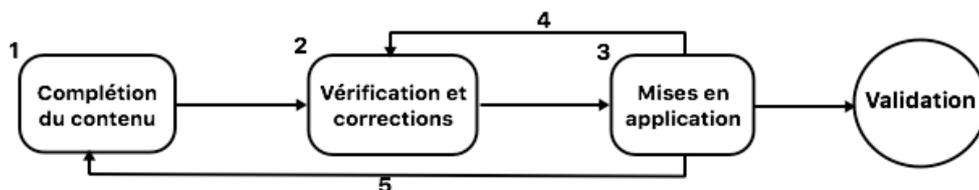


FIGURE 7.1 – Ebauche d'un processus de validation

1. **Complétion du contenu** sur base de résultats obtenus au cours de nouvelles recherches sur les modalités d'interaction (cf. 7.2.1) et les déficiences fonctionnelles (cf. 7.2.2).
2. **Vérification et corrections**, apportées par des experts du paramédical et de l'accompagnement du patient dans le maintien de son autonomie. L'expérience et la connaissance dont disposent les ergothérapeutes seront nécessaires pour garantir un résultat de qualité. Un **travail collaboratif** soutenu est donc nécessaire.
3. **Mises en application** : pour démontrer l'efficacité du modèle une fois complété et théoriquement vérifié, celui-ci devra être mis à l'épreuve en étant appliqué à des situations réelles. Ces mises en application devront se faire sur des études de cas suffisamment variées pour pouvoir couvrir chaque partie de la grille d'attribution.
4. De nouvelles corrections peuvent être nécessaires sur base des résultats obtenus au cours de l'application du modèle aux cas de tests. Dans ce cas, les corrections devront être suivies de nouveaux tests pour valider le modèle obtenu.
5. Il se peut que le modèle ne propose pas de solution satisfaisante pour certains cas de test. Dans ce cas, un enrichissement de contenu ou une augmentation du niveau de détail pourra s'avérer nécessaire sur base de nouvelles recherches. Une fois ce nouveau contenu intégré dans le modèle, il sera nécessaire de repasser par les étapes 2 et 3 du processus.

Tout comme dans certains processus de développement logiciel, les étapes devraient idéalement être répétées au cours d'un processus itératif et incrémental pour mettre au point de nouvelles versions toujours plus complètes et efficaces.

**Implémentation logicielle** Une fois une première version du modèle validée, une implémentation logicielle pourra être envisagée.

**Inclusion des autres contraintes** Actuellement, les contraintes sociales, d'environnement et celles relatives aux besoins et désirs de l'utilisateur doivent être évaluées en amont de l'utilisation du modèle d'attribution proposé. L'objectif serait à terme d'émanciper le modèle pour y inclure ces autres contraintes d'accessibilité. Pour ce faire, les bases conceptuelles proposées par [Obrenovic et al., 2007] et reprises dans l'état de l'art de ce travail peuvent être un bon point de départ.



# Bibliographie

- [abi, 2019] (2019). Keyboard and mouse alternatives and adaptations. URL : <http://www.abilitynet.org.uk/factsheets>.
- [A. Bilmes et al., 2005] A. Bilmes, J., Li, X., Malkin, J., Kilanski, K., Wright, R., Kirchhoff, K., Subramanya, A., Harada, S., Landay, J., Dowden, P., and Chizeck, H. (2005). The vocal joystick : A voice-based human-computer interface for individuals with motor impairments.
- [Agustin et al., 2009] Agustin, J. S., Skovsgaard, H., Hansen, J. P., and Hansen, D. W. (2009). Low-cost gaze interaction. In *Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI EA 09*. ACM Press.
- [Al-Rahayfeh and Faezipour, 2013] Al-Rahayfeh, A. and Faezipour, M. (2013). Eye tracking and head movement detection : A state-of-art survey. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 1 :2100212–2100212.
- [Annys, 2016] Annys, S. (2016). Soline : un contrôle d’environnement adapté. URL : [http://www.home-based.eu/files/soline\\_gen.pdf](http://www.home-based.eu/files/soline_gen.pdf).
- [Anson, 1997] Anson, D. K. (1997). *Alternative Computer Access : A Guide to Selection*. F.A. Davis Company, Philadelphia.
- [Ashtiani and MacKenzie, 2010] Ashtiani, B. and MacKenzie, I. S. (2010). BlinkWrite2. In *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research & Applications - ETRA 10*. ACM Press.
- [Buxton et al., 2009] Buxton, B., Billinghamurst, M., Guiard, Y., Sellen, A., and Zhai, S. (2009). *Human Input to Computer Systems : Theories, Techniques and Technology*, chapter 4.
- [Chi et al., 2012] Chi, C.-F., Tseng, L.-K., and Jang, Y. (2012). Pruning a decision tree for selecting computer-related assistive devices for people with disabilities. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 20(4) :564–573.
- [Collignon, 2003] Collignon, P. (2003). *L’informatique au service des handicapés*. OEM-Eyrolles.
- [Delcey, 2002] Delcey, M. (2002). *Déficiences motrices et situations de handicaps : Aspects sociaux, psychologiques, médicaux, techniques, troubles associés*, pages 145–151. Association des paralysés de France, 2 edition. Introduction aux causes de déficiences motrices.
- [Dumas et al., 2009] Dumas, B., Lalanne, D., and Oviatt, S. (2009). *Multimodal interfaces : A survey of principles, models and frameworks*, volume 5440 of *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, pages 3–26. LNCS - Springer-Verlag.
- [Feys et al., 2001] Feys, P., Romberg, A., Ruutiainen, J., Davies-Smith, A., Jones, R., Avizzano, C., Bergamasco, M., and Ketelaer, P. (2001). Assistive technology to improve pc interaction for people with intention tremor. *Journal of rehabilitation research and development*, 38 :235–43.
- [Findlater et al., 2010] Findlater, L., Jansen, A., Shinohara, K., Dixon, M., Kamb, P., Rakita, J., and Wobbrock, J. O. (2010). Enhanced area cursors. In *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST 10*. ACM Press.

- [Guerrier et al., 2017] Guerrier, Y., Kolski, C., and Poirier, F. (2017). Etat de l’art sur les systèmes d’aide à la communication envisageables pour des utilisateurs de profil imc athétosique. *Journal d’Interaction Personne- Système (JIPS)*, 6(1).
- [Hinckley et al., 2014] Hinckley, K., Jacob, R. J. K., Ware, C., Wobbrock, J. O., and Wigdor, D. J. (2014). Input/output devices and interaction techniques. In *Computing Handbook*, 3rd ed.
- [Hourcade et al., 2008] Hourcade, J. P., Perry, K. B., and Sharma, A. (2008). PointAssist. In *Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children - IDC 08*. ACM Press.
- [Huo et al., 2008] Huo, X., Wang, J., and Ghovanloo, M. (2008). A magneto-inductive sensor based wireless tongue-computer interface. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 16(5) :497–504.
- [Kane et al., 2008a] Kane, S. K., Bigham, J. P., and Wobbrock, J. O. (2008a). Slide rule. In *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets 08*. ACM Press.
- [Kane et al., 2008b] Kane, S. K., Wobbrock, J. O., Harniss, M., and Johnson, K. L. (2008b). TrueKeys. In *Proceedings of the 13th international conference on Intelligent user interfaces - IUI 08*. ACM Press.
- [Koester and LoPresti, 2008] Koester, H. H. and LoPresti, E. (2008). Tools and methods for assessment in computer access.
- [Kotzé et al., 2004] Kotzé, P., Eloff, M., Adesina-Ojo, A., and Eloff, J. (2004). Accessible computer interaction for people with disabilities : The case of quadriplegics. pages 97–106.
- [Le et al., 2018] Le, H. V., Kosch, T., Bader, P., Mayer, S., and Henze, N. (2018). PalmTouch. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI 18*. ACM Press.
- [M. Fitts, 1954] M. Fitts, P. (1954). Fitts, p. m. the information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *j. exp. psychol.* 47, 381-391, reprinted in. *j. exp. psychol.* 121, 262-269 (1992). *Journal of experimental psychology*, 47 :381–91.
- [Mackenzie and Felzer, 2010] Mackenzie, I. S. and Felzer, T. (2010). Sak : Scanning ambiguous keyboard for efficient one-key text entry. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 17(3) :1–39.
- [Majaranta and Bulling, 2014] Majaranta, P. and Bulling, A. (2014). Eye tracking and eye-based human–computer interaction. In *Human–Computer Interaction Series*, pages 39–65. Springer London.
- [Merlin and Raynal, 2010] Merlin, B. and Raynal, M. (2010). Evaluation of SpreadKey system with motor impaired users. In *Lecture Notes in Computer Science*, pages 112–119. Springer Berlin Heidelberg.
- [Mertens et al., 2010] Mertens, A., Jochems, N., Schlick, C., Dünnebacke, D., and Henrik Dornberg, J. (2010). Design pattern trabling : touchscreen-based input technique for people affected by intention tremor. pages 267–272.
- [Nigay and Coutaz, 1995] Nigay, L. and Coutaz, J. (1995). A generic platform for addressing the multimodal challenge. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’95, pages 98–105, New York, NY, USA. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [Nigay and Coutaz, 1996] Nigay, L. and Coutaz, J. (1996). Espaces conceptuels pour l’interaction multimédia et multimodale. *TSI spécial multimédia et collectifiel, AFCET and Hermes Publ.*, 15 :1195–1225.

- [Ntoa et al., 2014] Ntoa, S., Margetis, G., Antona, M., and Stephanidis, C. (2014). Scanning-based interaction techniques for motor impaired users. In *Assistive Technologies and Computer Access for Motor Disabilities*, pages 57–89. IGI Global.
- [Obrenovic et al., 2007] Obrenovic, Z., Abascal, J., and Starcevic, D. (2007). Universal accessibility as a multimodal design issue. *Commun. ACM*, 50 :83–88.
- [OMS, 2001] OMS (2001). *Classification Internationale du Fonctionnement du handicap et de la Santé*. OMS, Genève.
- [Polacek et al., 2015] Polacek, O., Sporka, A. J., and Slavik, P. (2015). Text input for motor-impaired people. *Universal Access in the Information Society*, 16(1) :51–72.
- [Pouplin et al., 2016] Pouplin, S., Bijakowski, S., Jacquillat, A., Dross, C., Kaufmann, S., Prouvost, V., Boirel, E., Darcq, F., and Leclerc, M. (2016). Etat de l’art des différents systèmes de pointages à l’oeil. URL : [http://www.handicap.org/wp-content/uploads/2018/06/etat\\_de\\_l\\_art\\_des\\_differeents\\_systemes\\_de\\_pointages\\_a\\_l\\_oeil-pfnt\\_-\\_novembre\\_2016.pdf](http://www.handicap.org/wp-content/uploads/2018/06/etat_de_l_art_des_differeents_systemes_de_pointages_a_l_oeil-pfnt_-_novembre_2016.pdf).
- [Pouplin and Cabanilles, 2015] Pouplin, S. and Cabanilles, S. (2015). Etat de l’art des claviers virtuels. URL : [http://www.handicap.org/wp-content/uploads/2018/06/claviers\\_virtuels\\_tableau\\_recapitulatif\\_pfnt\\_septembre\\_2015.pdf](http://www.handicap.org/wp-content/uploads/2018/06/claviers_virtuels_tableau_recapitulatif_pfnt_septembre_2015.pdf).
- [Ratzka, 2013] Ratzka, A. (2013). User interface patterns for multimodal interaction. *Transactions on Pattern Languages of Programming*, 3 :111–167.
- [Rousseau, 2017] Rousseau, P. (2017). Modalités d’interaction pour les personnes lourdement handicapées : étude et conception d’une application de téléphonie. Master’s thesis, Université de Namur.
- [Saponas et al., 2009] Saponas, T. S., Kelly, D., Parviz, B. A., and Tan, D. S. (2009). Optically sensing tongue gestures for computer input. In *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST 09*. ACM Press.
- [Schmidt, 2015] Schmidt, A. (2015). Biosignals in human-computer interaction. *Interactions*, 23 :76–79.
- [Schomaker et al., 1995] Schomaker, L., Nijtmans, J., Camurri, A., Morasso, P., Benoit, C., Guiard-Marigny, T., Gof, B. L., Robert-Ribes, J., Adjoudani, A., Defee, I., Munch, S., Hartung, K., and Blauert, J. (1995). A taxonomy of multimodal interaction in the human information processing system : Report of the esprit project 8579 miami. Technical report, Nijmegen University, NICL.
- [Seeberger et al., 2015] Seeberger, A., Bouteille, J., Cabanilles, S., Pouplin, S., and Auric, N. (2015). Tableau comparatif des contacteurs. URL : [http://www.handicap.org/wp-content/uploads/2018/06/contacteurs\\_tableau\\_recapitulatif\\_pfnt\\_\\_janvier\\_2015.pdf](http://www.handicap.org/wp-content/uploads/2018/06/contacteurs_tableau_recapitulatif_pfnt__janvier_2015.pdf).
- [Simpson, 2013] Simpson, R. (2013). *Computer Access for People with Disabilities*. CRC Press.
- [Simpson et al., 2010] Simpson, R., Koester, H. H., and LoPresti, E. (2010). Research in computer access assessment and intervention. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 21(1) :15–32.
- [Simpson et al., 2008] Simpson, T., Broughton, C., Gauthier, M., and Prochazka, A. (2008). Tooth-click control of a hands-free computer interface. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(8) :2050–2056.
- [Sporka et al., 2011] Sporka, A., Felzer, T., Hastuti Kurniawan, S., Polacek, O., Haiduk, P., and Scott MacKenzie, I. (2011). Chanti : Predictive text entry using non-verbal vocal input. pages 2463–2472.

- [Trewin et al., 2006] Trewin, S., Keates, S., and Moffatt, K. (2006). Developing steady clicks :. In *Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets 06*. ACM Press.
- [Tsandilas, 2014] Tsandilas, T. (2014). Lecture notes in programming of interactive systems - input pointing devices. URL : <https://www.lri.fr/~fanis/teaching/ISI2014/>.
- [Turpin et al., 2005] Turpin, G., Armstrong, J., Frost, P., Fine, B., Ward, C., and Pinnington, L. (2005). Evaluation of alternative computer input devices used by people with disabilities. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 29(3) :119–129.
- [Velloso et al., 2015] Velloso, E., Schmidt, D., Alexander, J., Gellersen, H., and Bulling, A. (2015). The feet in human–computer interaction. *ACM Computing Surveys*, 48(2) :1–35.
- [Vertanen and MacKay, 2010] Vertanen, K. and MacKay, D. J. (2010). Speech dasher. In *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems - CHI 10*. ACM Press.
- [Ward et al., 2000] Ward, D. J., Blackwell, A. F., and MacKay, D. J. C. (2000). Dasher—a data entry interface using continuous gestures and language models. In *Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST 00*. ACM Press.
- [Wobbrock, 2014] Wobbrock, J. O. (2014). Improving pointing in graphical user interfaces for people with motor impairments through ability-based design. In *Assistive Technologies and Computer Access for Motor Disabilities*, pages 206–253. IGI Global.
- [Wobbrock et al., 2009] Wobbrock, J. O., Fogarty, J., Liu, S.-Y. S., Kimuro, S., and Harada, S. (2009). The angle mouse. In *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems - CHI 09*. ACM Press.