



**HAL**  
open science

# Etat de l'art sur les systèmes d'aide à la communication envisageables pour des utilisateurs de profil IMC athétosique

Yohan Guerrier, Christophe Kolski, Franck Poirier

## ► To cite this version:

Yohan Guerrier, Christophe Kolski, Franck Poirier. Etat de l'art sur les systèmes d'aide à la communication envisageables pour des utilisateurs de profil IMC athétosique. 2016. hal-01433734v1

**HAL Id: hal-01433734**

**<https://hal.science/hal-01433734v1>**

Preprint submitted on 12 Jan 2017 (v1), last revised 10 Jul 2018 (v3)

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

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

# Etat de l'art sur les systèmes d'aide à la communication envisageables pour des utilisateurs de profil IMC athétosique

Yohan Guerrier<sup>1</sup>, Christophe Kolski<sup>1</sup>, Franck Poirier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UVHC, LAMIH, CNRS, UMR 8201, F-59313 Valenciennes

<sup>4</sup> Laboratoire UMR Lab-STICC Université de Bretagne Sud F-56000 Vannes  
{firstname.lastname}@univ-valenciennes.fr, Franck.Poirier@univ-ubs.fr

## 1. Introduction

La loi n° 2005-102 du 11 février 2005 stipule que chaque personne handicapée doit être intégrée dans la société. Cela passe par une accessibilité des lieux publics pour permettre à ces personnes de sortir de chez elles et de vaquer à leurs occupations aussi bien professionnelles que personnelles. La loi prévoyait une accessibilité totale pour 2015. Malheureusement, cette obligation a été reportée à 2018, 2021 ou 2024 selon le type et le contexte de l'établissement.

Il existe de nombreux handicaps, aussi bien physiques que mentaux (pour plus de détails, cf. [site internet unapei]). Cet article se focalise sur les personnes de profil IMC (Infirmité Motrice Cérébrale). Dans cette catégorie nous pouvons trouver deux grandes familles : les IMC athétosiques et les IMC plastiques.

Les IMC athétosiques ont pour particularité d'avoir des mouvements involontaires, de même qu'une dysarthrie, mais ils n'ont pas de problème au niveau de l'intelligence [Liptak *et al.*, 2004]. 40% d'entre eux environ sont en fauteuil roulant [Rapp *et al.*, 2000]. La dysarthrie provoque des problèmes d'élocution limitant l'intelligibilité de la parole [sante-medecine]. Les personnes dysarthriques prononcent mal les mots, mais elles n'ont aucun problème pour formuler des phrases correctes. Les mouvements involontaires des IMC athétosiques sont dus à un dommage neurologique à cause d'un manque d'oxygène durant la naissance. Ces mouvements sont plus ou moins importants par rapport au degré du handicap. Les personnes souffrant de cette pathologie dans la forme la plus grave ne peuvent manipuler de joystick à cause de leurs mouvements involontaires trop importants. Dans ce cas, l'athétose s'exprime également sur leur visage.

Les IMC plastiques n'ont pas de mouvements involontaires, mais ils ont des raideurs dans tous les membres. Leur précision dans les mouvements est beaucoup plus importante par rapport aux IMC athétosiques [Bérard *et al.*, 2006]. Cela leur permet d'avoir une plus grande autonomie.

Dans cet article, nous nous intéresserons aux utilisateurs de profil IMC athétosique.

De manière générale, les nouvelles technologies ne sont pas toujours accessibles aux personnes handicapées. Nous pouvons par exemple trouver une importante quantité d'informations à propos des nouvelles technologies et du handicap dans [Stephanidis, 2012]. Dans cet ouvrage concernant tout type de handicap, différents chapitres expliquent comment rendre accessibles des interfaces graphiques ou des produits exploitant un ensemble de nouvelles technologies. De manière générale, de nombreuses recherches sont effectuées dans le domaine du handicap et aux aides logicielles qu'il est possible d'apporter selon le type de handicap.

Pour en revenir aux personnes IMC athétosiques et comme précisé précédemment, celles-ci ont des problèmes d'élocution. Cela rend difficile leur compréhension pour une personne n'ayant pas l'habitude d'en côtoyer et écouter. C'est pour cela qu'il existe des besoins importants pour des aides à la communication pour les personnes IMC athétosiques.

Parmi les aides à la communication existantes [Abraham, 2003], celle qui est la plus connue est le clavier virtuel. Nous pouvons trouver des dizaines de claviers virtuels différents sur le marché [MacKenzie *et al.*, 2002]. Aucun n'est parfait, ils possèdent tous des avantages et des inconvénients. De nombreux brevets ont été déposés à ce sujet, relativement à des principes visant à accélérer la saisie à l'aide des claviers virtuels. Cependant, malgré de telles aides, la saisie par une personne IMC athétosique reste longue et fatigante. La personne doit utiliser un dispositif (par exemple un joystick) pour manipuler le pointeur de la souris. Il place le pointeur sur la lettre voulue et il appuie sur un contacteur pour valider. Cela laisse imaginer le temps et la fatigue physique engendrés pour écrire un texte de longueur importante.

Nous verrons également dans cet article d'état de l'art d'autres systèmes de communication comme la reconnaissance vocale ou les aides à la communication physique. Encore une fois, ces aides possèdent leurs propres avantages et inconvénients.

Un point important peut d'ores et déjà être noté : l'utilisation de tout type d'aide à la communication provoque généralement de la fatigue physique chez l'utilisateur handicapé physique. A ce sujet, la littérature fait mention de plusieurs fatigues physiques différentes : (1) la fatigue physique due à un effort physique répété, (2) celle accentuée par la vieillesse, (3) celle provoquée par le handicap [Allain *et al.*, 1999]. Dans cet article, nous considérerons naturellement la fatigue physique due au handicap. En effet, une personne IMC athétosique effectue un nombre important de mouvements involontaires, provoquant un épuisement au niveau des muscles sollicités. C'est pour cela par exemple qu'il est important de réduire les mouvements de la souris durant la saisie.

Cet article reprend le chapitre d'état de l'art de la thèse du premier auteur de cet article, intitulée « Proposition d'une aide logicielle pour la saisie d'information en situation dégradée - Application à des utilisateurs IMC athétosiques dans des contextes liés au transport et aux activités journalières » [Guerrier, 2015], sous la co-direction des deux autres auteurs. D'un point de vue général, il s'agissait de proposer, réaliser et tester un logiciel d'aide à la communication pour aider des personnes IMC athétosiques à communiquer, en se focalisant particulièrement sur les transports en commun.

De nos jours, de nombreuses aides à la communication sont proposées sur le marché et/ou présentées dans la littérature. Ces aides rassemblent (1) les claviers virtuels, (2) les logiciels exploitant des pictogrammes, (3) la reconnaissance vocale et (4) les autres types de systèmes de saisie dédiés aux personnes handicapées physiques (interface cerveau-ordinateur et aides physiques). Après la description successive de ces quatre catégories d'aide, cet article, initié dans [Guerrier *et al.*, 2012a, 2012b], se terminera par une synthèse dans laquelle notre point de vue sur chaque catégorie de système relativement au profil visé, sera fourni.

## 2. Les claviers virtuels pour les personnes handicapées physiques

De manière générale, le domaine de la saisie a évolué en trois étapes [Soukoreff, 2004]. La première étape a été l'invention de la machine à écrire. Cette invention a eu lieu à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. La seconde a coïncidé avec l'apparition de l'ordinateur personnel dans les années 1970-1980. Enfin, la dernière évolution a coïncidé avec l'invention des appareils mobiles permettant d'effectuer de la saisie souvent à l'aide de clavier virtuel.

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux claviers virtuels utilisables sur un ordinateur ou une tablette tactile ou un téléphone portable. Les claviers projetés [Roeber *et al.*, 2003] ne seront pas traités, car ils ne sont pas utilisables par les utilisateurs IMC.

Dans le domaine des claviers virtuels, de nombreux travaux ont été réalisés. Parmi tous ces travaux nous pouvons dans un premier temps souligner ceux de F. Vella [Vella, 2008]. Durant sa thèse, celui-ci a créé un outil original permettant d'évaluer les claviers virtuels selon un handicap donné, en se basant sur différentes formules mathématiques. Selon l'approche proposée, l'utilisateur sélectionne un clavier virtuel et un handicap, et le logiciel est capable de répondre si le clavier est adapté à ce handicap.

Malgré les nombreux travaux déjà menés, la différence de vitesse de saisie entre une personne valide et une personne handicapée reste importante. Certes, on considère que les personnes valides peuvent être différentes en termes de vitesse de saisie sur des claviers physiques, selon leur niveau d'expérience [MacKenzie *et al.*, 1999]. Nous pouvons ainsi classer grossièrement ces personnes dans deux catégories :

- La première catégorie concerne les débutants en saisie ; ces personnes ont peu d'expérience (voire aucune) avec un clavier physique. Leur saisie est lente.
- La seconde catégorie regroupe les personnes ayant une importante expérience avec les claviers physiques. Elles peuvent saisir rapidement.

Pour comparer ces performances, les personnes effectuent des tests dont le but est de saisir des mots de cinq lettres le plus rapidement possible [MacKenzie *et al.*, 2002]

Malheureusement, les personnes handicapées physiques sont moins rapides que la première catégorie (avec en outre de la fatigue physique ressentie durant l'utilisation des claviers virtuels [Bérard, 2004], [Nijmeijer, 2005], [Vella *et al.*, 2005]), et cela quel que soit leur niveau d'expérience ; cela est dû aux difficultés de pointage [Zhai *et al.*, 2000]. C'est pour cela que de nombreuses recherches sont effectuées dans le do-

maine des claviers virtuels. Ces recherches ont pour but d'accélérer la saisie des personnes handicapées. Parmi les résultats de ces recherches, nous pouvons citer la prédiction de mots. Ce principe permet de proposer à l'utilisateur un ensemble de mots selon les lettres saisies. Par exemple si l'utilisateur saisi la lettre « M », le clavier virtuel proposera le mot « Maison ».

Il existe des prédictions de mots évolués, comme le système VITIPI [Boissière *et al.*, 2002]. Ce système est capable de proposer un mot par rapport aux lettres saisies par l'utilisateur et en rapport avec le contexte de la phrase. Si l'utilisateur est en train d'écrire un texte qui a pour sujet la météo, le système VITIPI va lui proposer des mots en rapport à la météo.

On peut également trouver d'autres systèmes de prédictions de mots plus ou moins évolués [Menier *et al.*, 2001] [Hunnicuttt, 1985] [Magnuson, 1985] [Maurel *et al.*, 2000] [Maurel *et al.*, 2001] [Masui, 1999].

Les différents claviers virtuels seront classés dans les trois sous-parties suivantes : (1) claviers optimisés monotapes, (2) claviers non optimisés monotapes, (3) claviers non optimisés multitapes. Pour chacun d'eux (passés en revue avec un objectif de représentativité et non d'exhaustivité), nous fournissons une description, leurs avantages et inconvénients, une appréciation globale sur le système, le développeur ou la société qui les commercialise, la date de réalisation (annoncée ou supposée), un site ou une référence (ou plusieurs).

Dans chaque catégorie, les claviers sont décrits en respectant un ordre chronologique.

## 2.1. Claviers optimisés « monotape »

Les claviers optimisés ont pour but de diminuer la distance parcourue par la souris pendant la saisie ; pour ce faire les lettres sont regroupées par rapport à la fréquence d'apparition dans la langue voulue [Bellman et MacKenzie, 1998]. Grâce à cette technique, l'effort physique est diminué pendant la saisie.

Les claviers monotape possèdent une seule lettre par touche. Pour saisir le caractère voulu, l'utilisateur clique une seule fois sur la touche en question. Le meilleur exemple est le clavier physique standard.

Plusieurs claviers virtuels représentatifs de ce type sont passés en revue dans cette partie : Dvorak, Metropolis, Dasher, Opti et Fitaly, Skeleton Keys, Comlis, Chewing Word, K-THOT optimisé, B-link, H-MOUSE, XPeRT.

La particularité du clavier **Dvorak** (Figure 1) est que les consonnes et les voyelles les plus probables sont placées sur la ligne médiane. Le mode de saisie se fait par clic, temporisation (paramétrable) ou par balayage (le nombre et la durée des cycles sont paramétrables). Il existe aussi un balayage « par étape » : à l'aide d'un premier contacteur, on fait défiler les lignes ou les cases d'une ligne, avec un deuxième contacteur on sélectionne la ligne ou la case désirée.

**Avantage** : l'organisation des lettres permet la réduction du nombre de mouvements de la souris.

**Inconvénient** : l'apprentissage des positions des lettres est longue (20h) [site internet algo].

**Appréciation sur le système** : l'organisation des lettres permet d'accélérer la saisie.

**Date de réalisation** : 1930 (pour la proposition initiale de disposition)

**Site ou référence** : [Norman *et al.*, 1982] [Matias *et al.*, 1994] [Brook, 2000]



Figure 1. Clavier Dvorak

Le clavier **Dasher** (Figure 2) permet d'écrire des mots sans utiliser de clic. Au début de la saisie, le pointeur de la souris est au centre de l'écran, tandis que des lettres rangées dans des carrés de couleur se trouvent alignées tout à droite de la fenêtre. Ecarter la souris vers la droite de la croix centrale lance le défilement des lettres vers la gauche de la croix.

**Avantage** : selon le constructeur, on peut atteindre 30 mots à la minute, avec une prédiction de mot efficace. Le mot proposé par le clavier est proche du pointeur, cela diminue le parcours de la souris.

**Inconvénients** : la prise en main est difficile. Le clavier demande une bonne vue et de la concentration pour trouver la lettre voulue.

**Appréciation sur le système** : ce clavier demande trop de concentration pour être utilisé au-delà de quelques minutes.

**Date de réalisation** : 1997

**Site ou référence** : [Ward *et al.*, 2000] [Méthel, 2005]

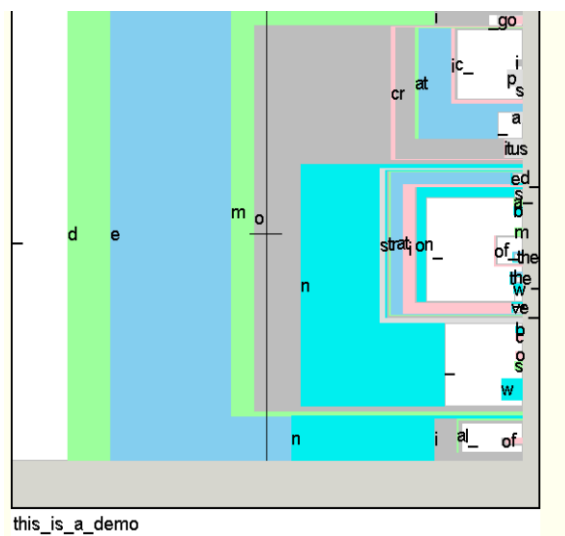


Figure 2. Clavier Dasher

Le clavier **Metropolis** (Figure 3) a été créé à partir de l'algorithme d'optimisation de type glouton du même nom. Il regroupe les lettres selon leurs attirances, par rapport aux caractéristiques du langage (par exemple en français la lettre u a de fortes probabilités de suivre la lettre q) et en s'appuyant sur les conclusions de la loi de Fitts [Fitts, 1954] (La *loi de Fitts* est un modèle du mouvement humain, prédisant le temps requis pour aller rapidement d'une position de départ à une zone finale de destination, en fonction de la distance à la cible et de la taille de la cible.).

**Avantage** : la disposition des touches est optimisée grâce à la loi de Fitts et, par conséquent, le mouvement de la souris.

**Inconvénient** : l'utilisateur doit apprendre la position des lettres.

**Appréciation sur le système** : la disposition des lettres permet la diminution de l'effort physique durant la saisie.

**Date de réalisation** : 2000

**Site ou référence** : [Raynal *et al.*, 2006] [Magnien *et al.*, 2004]

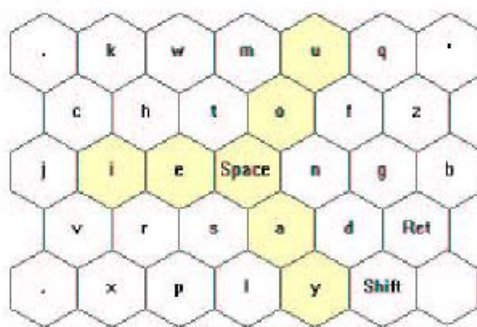


Figure 3. Clavier Metropolis

Le clavier **Opti et Fitaly** (Figure 4) est un clavier qui propose les lettres les plus probables en leur centre ; ce clavier dispose également de plusieurs barres d'espace sur les côtés et d'une grande barre Shift en bas pour une saisie plus facile et plus rapide afin de diminuer les coefficients de la loi de Fitts, qui permet de conclure que plus les lettres sont proches sur le clavier, plus la saisie d'un mot ou d'un caractère est rapide.

**Avantage** : le regroupement de lettres permet d'accélérer la saisie car la distance parcourue par la souris est diminuée.

**Inconvénient** : l'apprentissage prend du temps car l'utilisateur doit apprendre la position des lettres.

**Appréciation sur le système** : l'atout majeur de ce clavier est sa rapidité de saisie (50 mot par minute [site internet textware]).

**Société** : Textware

**Date de réalisation** : 2004

**Site ou référence** : [Raynal *et al.*, 2006] [Magnien *et al.*, 2004] [Zhai *et al.*, 2002]

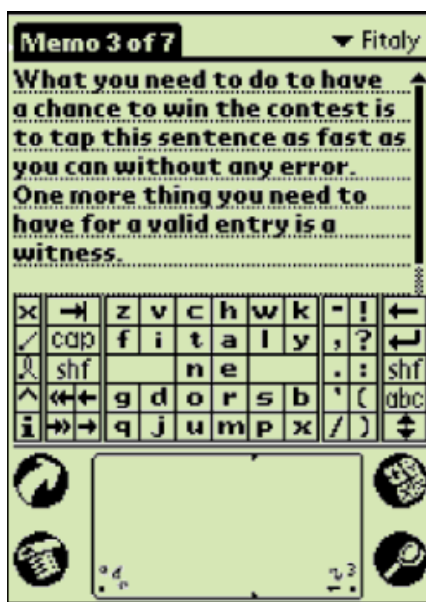


Figure 4. Clavier Fitaly

Dans **Skeleton Keys** (Figure 5), les touches ont été placées par rapport à la fréquence d'apparition des lettres dans la langue d'utilisation (en anglais initialement ou en français). Le mode de saisie peut être par clic, par temporisation (paramétrable) ou par balayage (le nombre et la durée des cycles sont paramétrables). Il existe aussi un balayage « par étape » : à l'aide d'un premier contacteur on fait défiler les lignes ou les cases d'une ligne, avec un deuxième contacteur on sélectionne la ligne ou la case désirée. L'utilisateur a la possibilité de modifier le clavier, d'éditer de nouvelles touches, de choisir la taille des cases, la police des étiquettes, etc. On peut trouver les fonctionnalités suivantes : un émulateur de souris permettant un pilotage

du curseur en mode radar ou mire ou avec des flèches, une prédiction dynamique (en anglais initialement, mais comme la prédiction est basée uniquement sur la fréquence d'utilisation des mots, il est possible d'obtenir rapidement une prédiction correcte en français). Ce clavier est destiné aux utilisateurs handicapés moteur.

**Avantages** : le contrôle de l'ordinateur est assez complet (menus, navigation entre les fenêtres, etc.) en mode défilement. L'organisation des lettres permet de réduire le nombre de mouvements pendant la saisie.

**Inconvénient** : le clavier demande un apprentissage car l'organisation des lettres peut perturber l'organisateur.

**Appréciation sur le système** : le placement des lettres permet de réduire le nombre de mouvements.

**Date de réalisation** : 2004

**Site ou référence** : [Magnien *et al.*, 2004] [Zaitsev *et al.*, 2010]

the		↵	⌨	Esc	Bksp	←↵	
to	e	t	o	s	c	m	
and	a	n	i	u	h	f	
you	r	l	p	y	v	x	
if	d	g	b	w	k	j	
is	.	,	'	-	q	z	
of	Shift	↵↵	↵→	Caps	Ctrl	Alt	
123	?@&	Menu	Task	Start	Profile	Scan+	Scan-
↵	< >	<>	OK?	@www	F1/#1	???	Exit

Figure 5. Clavier Skeleton Keys

Le **Comlis** (Figure 6) est un clavier à l'écran optimisé pour un accès par balayage, avec dictionnaire prédictif. Il s'agit cependant d'une aide à la communication uniquement, il ne permet pas de faire du traitement de texte.

**Avantages** : il est facile d'utilisation, la saisie par balayage est optimisée car les lettres les plus fréquentes sont en première position.

**Inconvénients** : on ne peut pas le configurer, les majuscules ne sont pas faciles à atteindre en mode balayage car elles se trouvent en dernière position dans le parcours du rectangle lumineux.

**Appréciation sur le système** : si le placement des lettres est optimisé pour le balayage, il doit l'être également pour l'utilisation avec un joystick.

**Société** : idée-association

**Date de réalisation** : 2007

**Site ou référence** : <http://idee-association.org/les-programmes/les-claviers-a-lecran/comlis/>

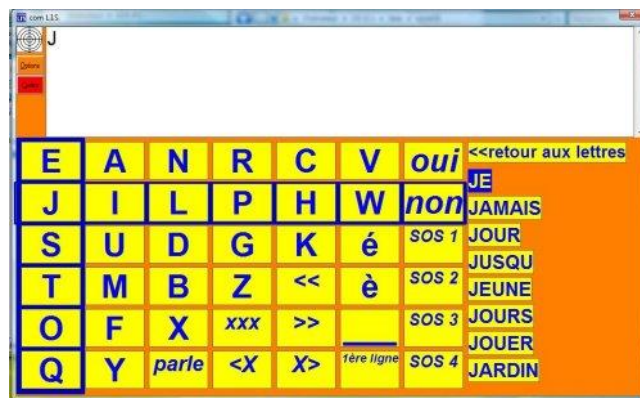


Figure 6. Clavier Comlis

Le principe du clavier **Chewing Word** (Figure 7) diffère largement des précédents ; seules quelques lettres sont affichées simultanément, et s'agencent en fonction de la position du curseur lors de la dernière entrée. Si la lettre souhaitée n'apparaît pas (ce qui est assez rare), le mouvement du curseur affiche les lettres suivantes, toujours par probabilité d'apparition croissante ; une case permet sinon l'affichage de l'alphabet entier (toujours classé comme précédemment). Une case permet l'insertion d'un espace, une autre celle d'un caractère spécial ou d'un signe de ponctuation. La saisie se fait par clic normal ou par clic long. Il existe aussi un mode défilement et un mode autoclic. La prédiction de mots est intégrée et dynamique, elle s'adapte au vocabulaire de l'utilisateur. Il n'est même pas nécessaire de pointer le mot pour le valider, il suffit de faire un clic long sur la lettre. En outre, il est possible de ne sélectionner qu'une partie du mot prédit, s'il ne correspond pas tout à fait au mot souhaité.

**Avantages** : la distance parcourue par la souris est optimisée, la prédiction de mots est très efficace. Les accents, les mises en forme et les ponctuations sont insérées automatiquement.

**Inconvénient** : le fait que les lettres changent de place en permanence demande une concentration plus élevée par rapport aux claviers statiques (pour lesquels les lettres sont toujours à la même place).

**Appréciation sur le système** : ce clavier permet d'écrire rapidement et avec un effort physique faible. Cependant, à la suite de quelques heures d'utilisation les personnes handicapées moteur ressentent une fatigue mentale [Grange, 2011].

**Date de réalisation** : 2008

**Site ou référence** : [Grange, 2010] [Grange, 2011]

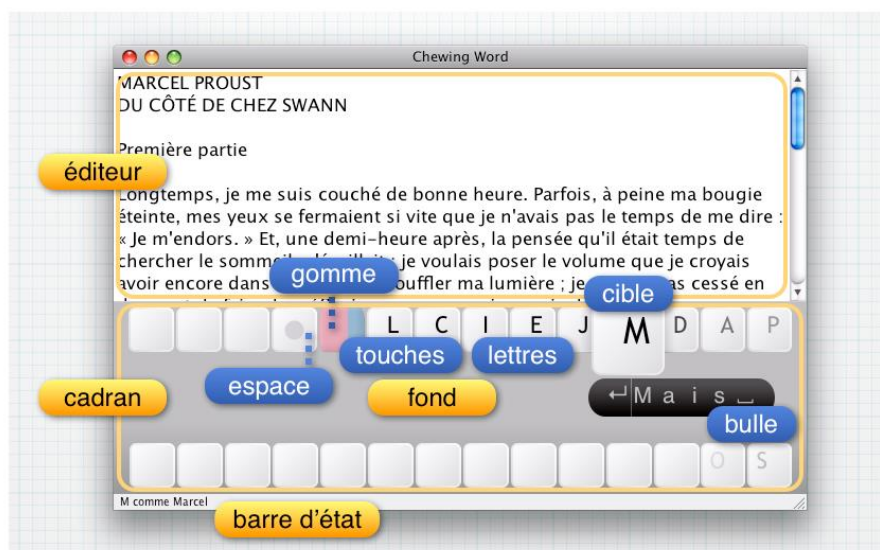


Figure 7. Clavier Chewing Word



Avec **K-THOT** optimisé (Figure 8) chaque bouton contient quatre lettres. Pour sélectionner une lettre, l'utilisateur clique sur le bouton voulu et fait sortir la souris du côté de la lettre. Les lettres ont été regroupées par rapport à la fréquence d'apparition dans la langue française. Ce clavier a été conçu pour les personnes IMC.

**Avantage** : la distance parcourue de la souris est diminuée. Car les lettres sont organisées par rapport à leur fréquence d'apparition dans la langue française.

**Inconvénient** : le clavier demande un effort de concentration important pour trouver la lettre voulue, cela entraîne une fatigue visuelle et mentale.

**Appréciation sur le système** : Le nombre réduit de touches permet une diminution de l'effort physique, durant la saisie.

**Date de réalisation** : 2010

**Site ou référence** : [Baas *et al.*, 2010]

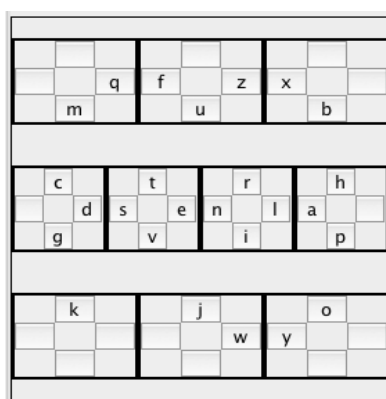


Figure 8. Clavier K-THOT optimisé

**B-link** (Figure 9) est un logiciel qui permet à l'utilisateur de commander l'ordinateur en clignant des yeux, les clins d'œil étant reçus par sa webcam. Le clavier réalise un balayage (mouvement d'un carré lumineux sélectionnant chaque touche à tour de rôle). L'utilisateur effectue un clignement d'yeux lorsque le carré lumineux est sur la touche voulue.

**Avantages** : Le logiciel offre un outil de souris virtuelle. On peut également arrêter l'ordinateur à partir du clavier.

**Inconvénient** : Le clavier ne fonctionne pas avec toutes les webcams. Il demande beaucoup de concentration.

**Appréciation sur le système** : Le logiciel permet d'effectuer de la saisie avec très peu d'effort physique. Mais en contrepartie, l'utilisateur doit se concentrer pour sélectionner la lettre voulue.

**Date de réalisation** : 2010

**Site ou référence** : [Królak *et al.*, 2012]



Figure 9. B-Link

**H-MOUSE** (Figure 10) fonctionne comme suit : on choisit d'abord un bloc du clavier (touches de fonctions ou lettres), puis une des lettres de ce bloc. La prédiction des mots peut fonctionner de deux façons : soit le mot souhaité s'affiche grâce au dictionnaire prédictif. Soit il ne s'affiche pas mais la lettre suivante est affichée dans le même groupe de lettre. On peut choisir un autre groupe de lettres pour continuer.

**Avantages** : le nombre réduit de touches permet d'accélérer la saisie.

**Inconvénient** : on ne peut pas écrire directement dans un traitement de texte.

**Appréciation sur le système** : le changement du contenu des touches permet d'accélérer la saisie, mais demande un effort de concentration supplémentaire.

**Date de réalisation** : 2011

**Site ou référence** : [Gaudeul *et al.*, 2008]



Figure 10. Clavier H-MOUSE

Le clavier **XPeRT** (Figure 11) reste très proche d'un clavier qwerty : il est donc plus facile à apprendre pour des utilisateurs de claviers standards. Le principe est simple : il s'agit de placer les couples de lettres les plus fréquentes (AS, ER, ON, TE) afin que chaque lettre d'un couple soit accessible par une main distincte pour accélérer la saisie. De plus, la lettre la plus fréquente (E) apparaît deux fois sur le clavier pour être accessible par les deux mains.

**Avantage** : la disposition des lettres permet la diminution de l'effort durant la saisie.

**Inconvénient** : l'apprentissage du clavier prend du temps (environ 40h) [Martin et Pecci 2006].

**Appréciation sur le système** : comme les bigrammes sont regroupés, la distance parcourue par la souris est diminuée.

**Société :** WareSeeker

**Date de réalisation :** 2011

**Site ou référence :** [Wedding *et al.*, 2006]



Figure 11. Clavier XPeRT

## 2.2. Claviers non optimisés monotapes

Les claviers non optimisés reprennent, soit la disposition des touches des claviers azerty ou qwerty, soit l'ordre alphabétique. Cela a pour avantage que l'utilisateur arrive à trouver la lettre voulue plus facilement et rapidement. Nous allons discuter dans cette section des claviers virtuels non optimisés mono-tape, puis multi-tapes.

**KEYGLASS** (Figure 12) offre, une fois qu'une lettre est saisie, quatre boutons virtuels semi-transparentes représentant les lettres suivantes les plus probables.

**Avantage :** on peut souligner une diminution du parcours de la souris grâce au bouton qui apparaît autour de la touche sélectionnée.

**Inconvénient :** on peut constater une diminution de la vitesse de saisie à cause des changements de lettres dans la prédiction.

**Appréciation sur le système :** le clavier permet une diminution de l'effort physique, mais on peut constater une augmentation de la concentration.

**Date de réalisation :** 2004

**Site ou référence :** [Raynal *et al.*, 2005b] [Raynal *et al.*, 2009] [Isokoski, 2004]

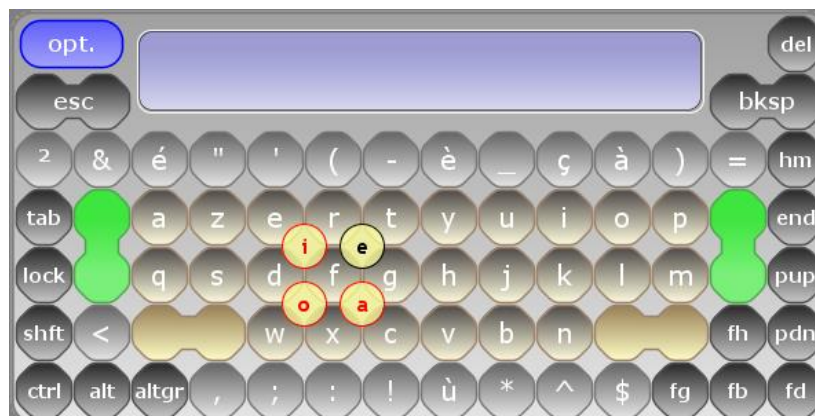


Figure 12. Clavier KEYGLASS

Le clavier **KeyStrokes** (Figure 13) est seulement compatible avec macOS. Sa particularité est la prédiction de mots ; cette dernière est capable de proposer un mot suivant le contexte de la phrase. Prenons l'exemple suivant : l'utilisateur saisit l'article « le », le logiciel va proposer seulement des mots masculins.

**Avantages** : la taille du clavier s'adapte à l'environnement, la prédiction des mots est très efficace, cela accélère fortement la saisie et en conséquence diminue la fatigue physique.

**Inconvénient** : il ne possède pas de mode de défilement ; un utilisateur qui utilise un unique bouton (mono-bouton), pour contrôler un ordinateur, ne peut donc pas l'utiliser.

**Appréciation sur le système** : la performance de la prédiction de mots permet d'accélérer fortement la saisie.

**Société** : Assistiveware

**Date de réalisation** : 2000

**Site ou référence** : [Magnien *et al.*, 2004]

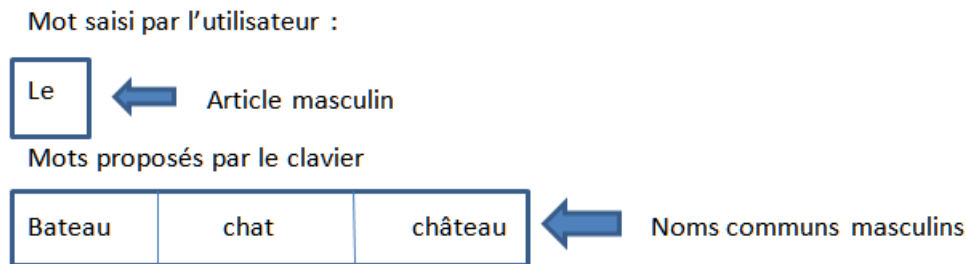


Figure 13. Système de prédiction de mots de KeyStrokes

Le clavier **CLAVICOM** (Figure 14) est en mode azerty. L'utilisateur sélectionne la lettre avec le pointeur de la souris ou par un système de balayage. Les mots sont proposés sur des touches du clavier virtuel par prédiction lexicale.

**Avantage** : il est utilisable avec toutes les autres applications, avec possibilité de déplacer les touches. Ce fait permet à l'utilisateur d'optimiser lui-même le placement des touches selon ses besoins.

**Inconvénient** : le dictionnaire contient peu de mots, ce qui a pour conséquence de ralentir la saisie.

**Appréciation sur le système** : ce clavier n'est pas optimisé pour les utilisateurs handicapés moteur, car les lettres les plus utilisées sont trop éloignées des unes des autres.

**Société** : Hipf

**Date de réalisation** : 2001

**Site ou référence** : [Pouech *et al.*, 2009] [Ballayer *et al.*, 2005]



Figure 14. Clavier CLAVICOM

Le clavier **CLAVICOM NG** (Figure 15) reprend les mêmes principes que le clavier précédent tout en ajoutant de nouvelles fonctionnalités. Les nouveaux mots s'ajoutent automatiquement au dictionnaire, le balayage est optimisé, il possède un outil pour contrôler la souris.

**Avantage** : il est complètement paramétrable, on peut ajouter de nouvelles touches correspondant à de nouvelles fonctions ; par conséquent on peut ajouter des touches avec des mots complets et donc accélérer la saisie.

**Inconvénient** : le fait que les lettres les plus utilisées soient éloignées ralentit la saisie.

**Appréciation sur le système** : les touches du clavier ne sont pas disposées de façon optimisée, cela augmente le nombre de mouvements durant la saisie comme le montre l'étude comparative disponible dans [Guerrier *et al.*, 2011a].

**Date de réalisation** : 2008

**Site ou référence** : [Abraham *et al.*, 2012]



Figure 15. Clavier CLAVICOM NG

Le clavier **CLICK-N-TYPE** (Figure 16) reprend le mode AZERTY. Quatre mots sont proposés chaque fois que l'utilisateur saisit une lettre. Le contenu des touches est constitué par les lettres, les chiffres, des touches de fonction. L'utilisateur peut choisir une touche, soit par le pointage autoclic, soit par balayage. Le défilement est automatique (pas de défilement manuel). L'écran est divisé en 6 blocs (2 lignes de 3). Trois clics sont nécessaires à la validation d'une touche :

- premier clic (de sélection de bloc) : une ligne horizontale défile vers le bas
- deuxième clic (de sélection de ligne) : une ligne verticale défile vers la droite
- troisième clic (de sélection de case) : celle-ci est ciblée et l'action se produit

**Avantage** : on peut créer et personnaliser le clavier. Cela permet de le configurer selon les besoins de l'utilisateur.

**Inconvénient** : pour quitter le mode balayage, on doit appuyer sur le bouton ECHAP sur le clavier physique. Cette action n'est pas possible pour un ensemble d'utilisateurs handicapés moteur tétraplégique.

**Appréciation sur le système** : les touches du clavier ne sont pas disposées de façon optimisée ; cela augmente le nombre de mouvements durant la saisie.

**Société** : Lakefolks

**Date de réalisation** : 2002

**Site ou référence** : [Peltier *et al.*, 2007]



Figure 16. Clavier CLICK-N-TYPE

**Sibylle** (Figure 17) est un clavier prédictif à balayage, qui permet d'aider l'utilisateur à saisir plus rapidement, en prédisant les lettres et les mots les plus probables pendant la saisie. Sibylle est un clavier dynamique à défilement. Cela signifie que les lettres changent de place après chaque saisie d'une lettre.

**Avantage** : grâce à la prédiction, l'utilisateur doit seulement saisir moins de la moitié des lettres ; par conséquent cela diminue de moitié le nombre de défilements durant la saisie.

**Inconvénient** : il faut un effort de concentration supplémentaire pour lire les propositions. Une fatigue mentale apparaît après quelques heures d'utilisation [Wandmacher *et al.*, 2007].

**Appréciation sur le système** : La prédiction de lettres et de mots permet d'augmenter la rapidité de saisie.

**Date de réalisation** : 2002

**Site ou référence** : [Wandmacher *et al.*, 2007] [Poirier *et al.*, 2005]

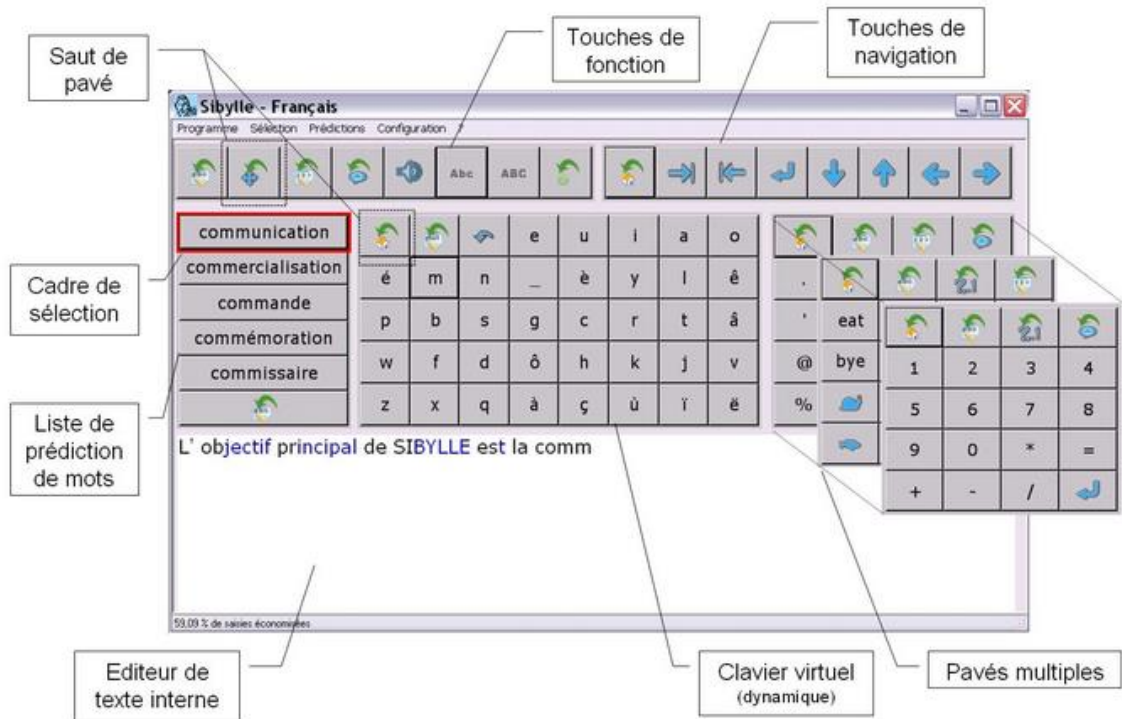


Figure 17. Clavier Sibylle

Le clavier virtuel **AZERTY** (Ghanilog) (Figure 18) reprend la même disposition des touches qu'un clavier physique. La prédiction des mots s'effectue par ordre alphabétique. Les modes d'accès sont les suivants : avec un système de pointage ou un contacteur. Les cases contiennent des lettres ou une touche de fonction (police paramétrable). Les modes de saisie sont les suivants : par clic, par autoclic ou par balayage (configurable). Le défilement est automatique, et s'effectue d'abord par ligne et vers le bas puis par bloc dans une ligne, puis case par case ; un contacteur peut être branché en parallèle du clic gauche d'une souris normale.

**Avantages** : les principaux avantages de ce clavier sont : la facilité d'utilisation, la possibilité de créer son propre dictionnaire, la possibilité de redémarrer l'ordinateur à l'aide du clavier. De plus le fait de pouvoir commander l'ordinateur par l'intermédiaire du clavier évite les manipulations physiques.

**Inconvénient** : les lettres du clavier ne sont pas placées de manière optimisée pour la saisie.

**Appréciation sur le système** : ce clavier n'est pas optimisé au niveau des placements des lettres. Pour les utilisateurs handicapés moteur, cela entraîne une fatigue physique pendant la saisie.

**Société** : Ghanilog

**Date de réalisation** : 2003

**Site ou référence** : [Belatar *et al.*, 2007]

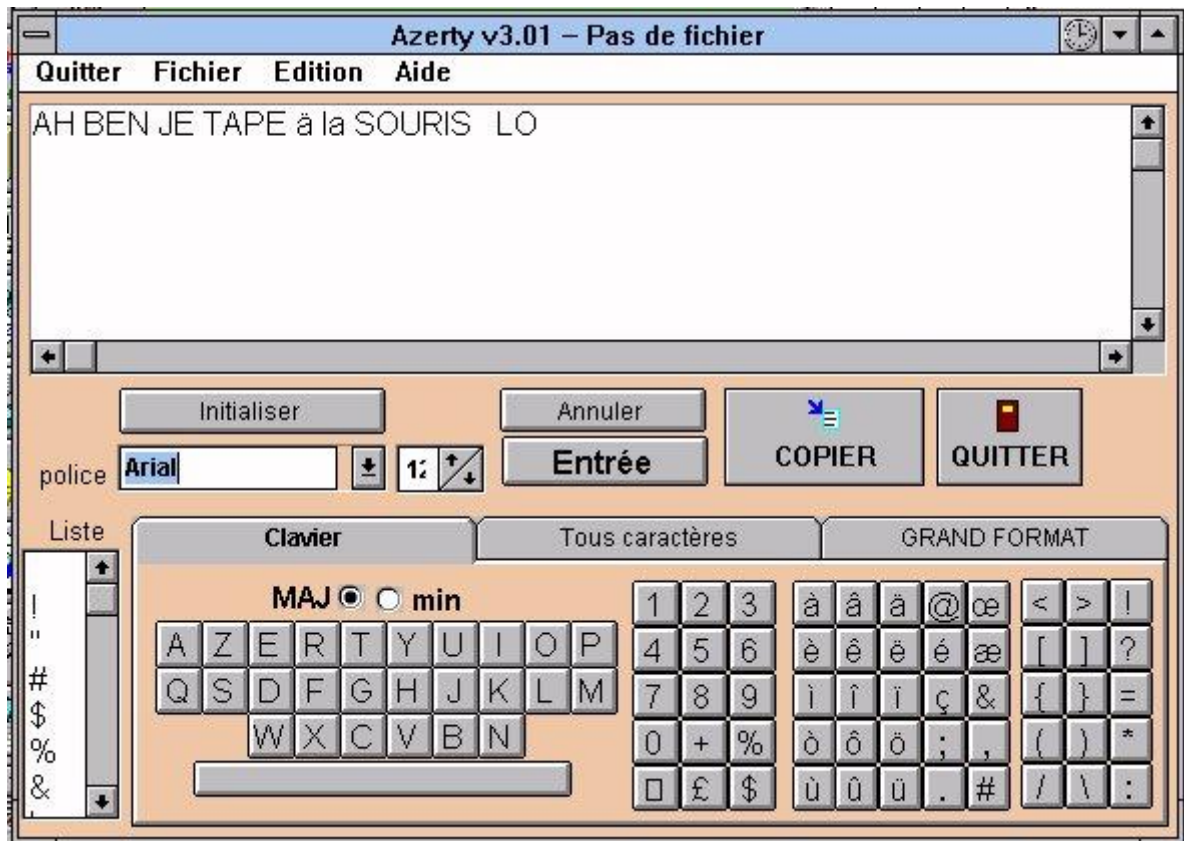


Figure 18. Clavier AZERTY

Avec **CLAVIDEF** (Figure 19), les lettres sont disposées par ordre alphabétique. Pour ce qui est du contenu des cases, chacune d'entre elles peut contenir des lettres, des mots ou des phrases. Il existe aussi 15 pictogrammes de commande pour des fonctionnalités de base (naviguer dans le texte, effacer le texte, retour à la ligne, lire le texte, enregistrer, etc.).

**Avantage** : Clavidef intègre une prédiction de mots accessible par des raccourcis claviers ; cela permet d'accélérer la saisie.

**Inconvénients** : il est impossible de créer une touche qui renvoie à une fonction ; il n'est pas utilisable avec d'autres applications, donc l'utilisateur doit faire un copier-coller pour mettre son texte dans une application.

**Appréciation sur le système** : le fait de pouvoir créer des touches permet d'optimiser le placement des lettres.

**Société** : Idée Association

**Date de réalisation** : 2004

**Site ou référence** : [Gaudeul *et al.*, 2008]





Figure 19. Clavier CLAVIDEF

Le clavier **Discover Screen** (Figure 20) est une aide au traitement de texte et au pilotage de la souris ; les touches peuvent contenir une lettre, une image ou un pictogramme. La version 7 s'enrichit d'un dictionnaire prédictif.

**Avantages** : il est facile de le configurer grâce à un assistant. Cela permet de répondre finement aux besoins de l'utilisateur.

**Inconvénient** : il ne possède pas de balayage.

**Appréciation sur le système** : le fait de ne pas avoir de prédiction de mots ralentit la vitesse de saisie.

**Société** : Madentec

**Date de réalisation** : 2004

**Site ou référence** : <http://www.enablemart.com/discover-screen-mac-pc>

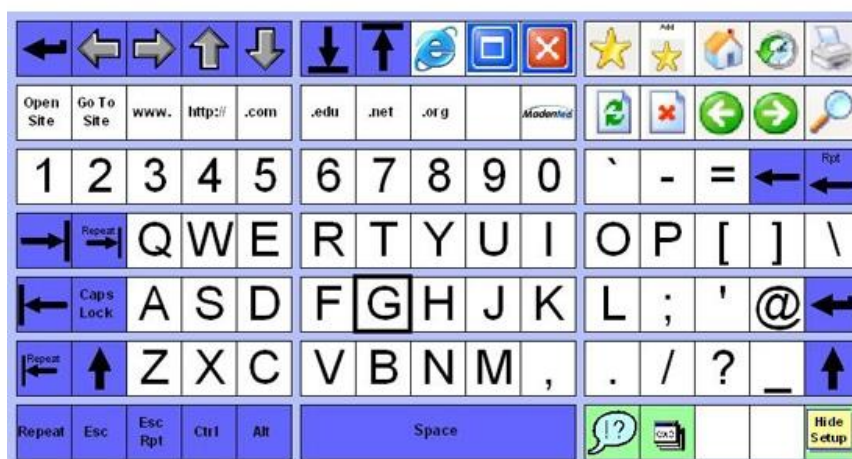


Figure 20. Clavier Discover Screen

Le **clavier COMFORT ON-SCREEN KEYBOARD** (Figure 21) est en mode qwerty ; il fonctionne comme le clavier de Windows. Il affiche les icônes des raccourcis clavier pour les applications Windows. La saisie consiste uniquement en un clic normal. Il n'y a pas de fonction de défilement.

**Avantages** : le logiciel propose plusieurs types de claviers différents, on peut agrandir les touches, la prédiction de mot est dynamique. L'ensemble de ces avantages contribue à l'accélération de la saisie.

**Inconvénient** : La disposition des lettres n'est pas optimisée, par conséquent cela ralentit la saisie.

**Appréciation sur le système** : l'utilisation du clavier est fatigante pour une personne handicapée moteur.

**Société** : confort-software

**Date de réalisation** : 2006

**Site ou référence** : <http://www.comfort-software.com/page.php?5>



Figure 21. COMFORT ON-SCREEN KEYBOARD

Le **CVK** (Custom Virtual Keyboard) (Figure 22) est un clavier en mode AZERTY qui possède une option permettant de placer automatiquement le curseur au centre du clavier à la suite de la saisie d'une lettre.

**Avantages**: le dictionnaire est très complet ; de plus il propose les accords et les conjugaisons. Cela accélère fortement la saisie.

**Inconvénient** : dans la prédiction, les mots employés par l'utilisateur supplantent, dans l'ordre de prédiction, les mots connus du dictionnaire à l'origine. Cela peut troubler l'utilisateur.

**Appréciation sur le système** : le fait de placer automatiquement le curseur au centre du clavier peut diminuer la distance parcourue par la souris.

**Date de réalisation** : 2006

**Site ou référence** : [Colas *et al.*, 2006]



Figure 22. Clavier CVK

**Le clavier visuel Windows** (Figure 23) reprend la disposition des touches d'un clavier physique, l'utilisateur sélectionne la touche avec le pointeur de la souris.

**Avantage :** il est compatible avec toutes les applications de Windows, cela permet d'écrire directement dans un logiciel de traitement de texte par exemple.

**Inconvénients :** il n'est pas configurable, le défilement n'est pas utilisable avec un contacteur, la prédiction de mots ne fonctionne pas toujours. Le placement des lettres n'est pas optimisé donc la saisie est longue et fatigante.

**Appréciation sur le système :** ce clavier n'est pas du tout optimisé pour les personnes handicapées moteurs, car il demande énormément d'effort physique pour effectuer la saisie d'un texte.

**Société :** Microsoft

**Date de réalisation :** 2009

**Site ou référence :** <http://windows.microsoft.com/fr-fr/windows-xp/help/on-screen-keyboard>



Figure 23. Clavier visuel Windows

Le clavier **Bekey virtual keyboard** (Figure 24) utilise une prédiction de mots. A ce sujet, l'utilisateur peut choisir différents types de prédictions de mots (mots les plus utilisés ou par ordre alphabétique ou listes préconfigurées selon la fréquence, présentes dans le dictionnaire).

**Avantages** : le clavier possède 23 dictionnaires dans des langues différentes. Le système a la particularité de ne pas choisir entre les différents types de prédiction de mots mais de laisser le choix à l'utilisateur (dans les options, qui sont personnalisables depuis le clavier lui-même).

**Inconvénient** : La taille et la forme du clavier sont personnalisables mais pas la place des touches.

**Appréciation sur le système** : Le placement des lettres n'est pas optimisé ; cela ralentit la saisie.

**Société** : Be-enabled

**Date de réalisation** : 2011

**Site ou référence** : <http://www.be-enabled.de/en/products.php>



Figure 24. Bekey virtual keyboard

### 2.3. Claviers multitapes non optimisés

Les claviers multitapes « ambigus » [Poirier *et al.*, 2004] [Pavlovyh *et al.*, 2004] obligent l'utilisateur à taper N fois sur le bouton, N correspondant à la position de la lettre voulue sur la touche. Cela permet de réduire la distance parcourue par la souris. Dans cette partie, nous allons voir les claviers virtuels non optimisés représentatifs de ce type.

L'UKO-II (Figure 25) est un clavier conçu pour les utilisateurs IMC. Reprenant le principe du T9<sup>1</sup>, il regroupe les caractères de saisie en quatre zones, numérotées de un à quatre et il possède un système de désambiguïsation<sup>2</sup>.

**Avantage** : ce clavier possède seulement quatre touches ; par conséquent cela diminue fortement la distance parcourue par la souris.

**Inconvénient** : le fait de taper plusieurs fois sur le même bouton peut perturber l'utilisateur. De plus, la charge cognitive de l'utilisateur est importante quand il saisit un mot car il ne peut pas voir les lettres déjà saisies avant de sélectionner son mot dans la liste de choix [Evreinova *et al.*, 2004]. Durant la saisie d'un mot, les chiffres correspondant aux différents boutons (de 0 à 3) qui regroupent les lettres s'affichent au lieu des lettres. C'est seulement lorsque l'utilisateur saisit un espace que le mot apparaît. Nous pouvons voir sur la figure ci-dessous que l'utilisateur a commencé à saisir un mot à l'aide de chiffres (232 sur la **Figure 25**).

**Appréciation sur le système** : le nombre réduit de boutons permet une diminution de l'effort physique.

**Société** : Harbusch

**Date de réalisation** : 2003

**Site ou référence** : [Harbusch *et al.*, 2003] [Badr *et al.*, 2011]

<sup>1</sup> La saisie de chaque lettre nécessite de presser p fois la touche sur laquelle elle est inscrite, où p désigne sa position dans le groupe.

<sup>2</sup> Ce principe consiste à appuyer plusieurs fois sur la touche pour choisir la lettre voulue.

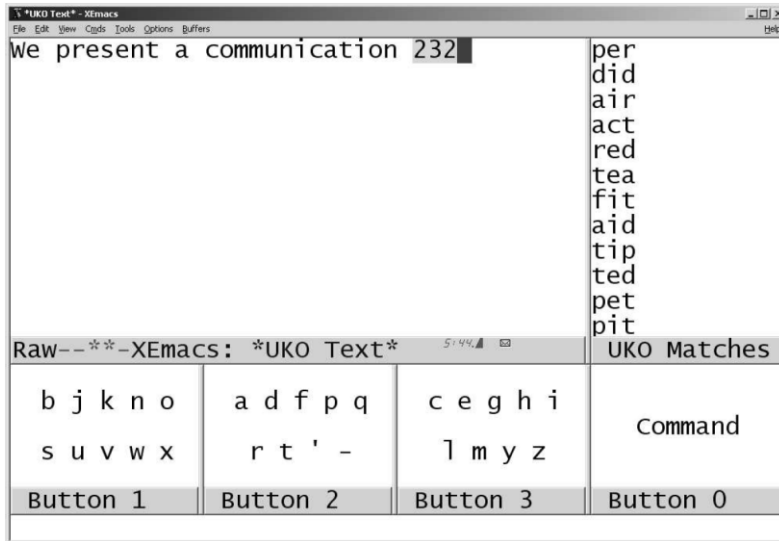


Figure 25. Clavier UKO-II

**K-HERMES** (Figure 26) est un clavier multitape reprenant la même disposition des lettres des téléphones portables (ordre alphabétique). L'utilisateur a quelques secondes pour choisir la lettre voulue. Ce temps est paramétrable. L'utilisateur doit cliquer N fois pour saisir un caractère, N correspond à la position de la lettre sur le bouton. Ce clavier est destiné aux personnes handicapées de type IMC.

**Avantage** : la réduction du nombre de boutons engendre la diminution de déplacement de la souris et par voie de conséquence de la fatigue physique.

**Inconvénient** : le système multitape ralentit la saisie à cause de l'augmentation du stress découlant du temps limité pour saisir une lettre.

**Appréciation sur le système** : le regroupement des lettres doit être amélioré dans le but de diminuer le nombre de clics.

**Date de réalisation** : 2010

**Site ou référence** : [Guerrier, 2010]<sup>3</sup> [Guerrier *et al.*, 2011a] [Guerrier *et al.*, 2011b]

<sup>3</sup> Cette recherche a obtenu le Prix DREES CNSA du meilleur mémoire de master II sur le handicap et la perte d'autonomie en 2011.

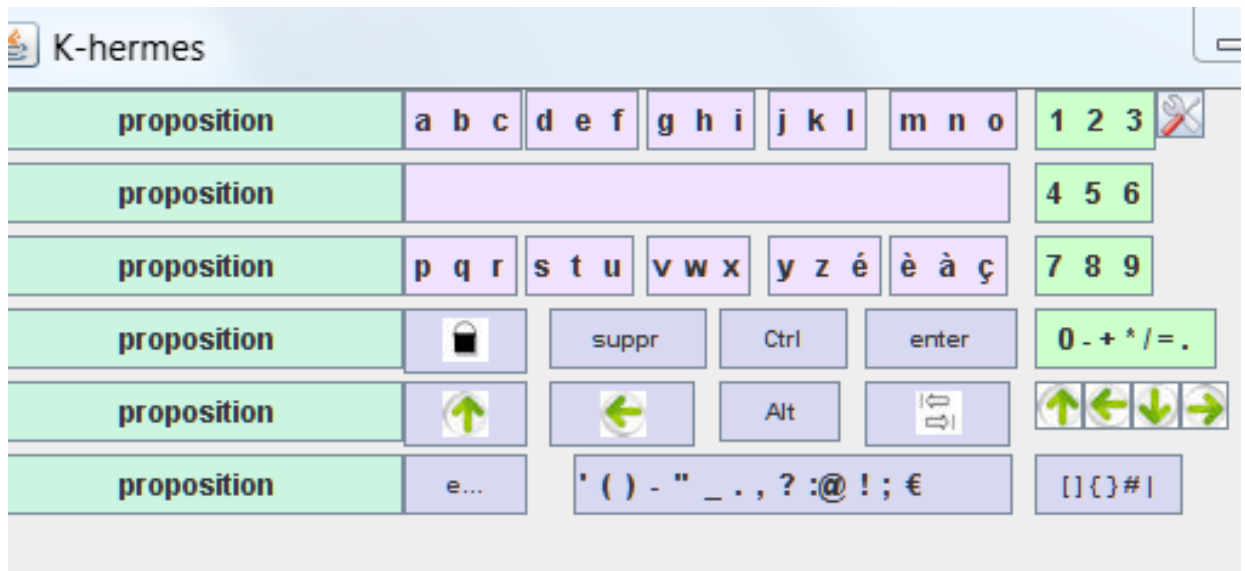


Figure 26. Clavier K-HERMES

#### 2.4. Conclusion sur les claviers virtuels

Les claviers monotapes optimisés regroupent les lettres par rapport à la fréquence d'apparition dans la langue concernée, ce qui permet de diminuer la distance parcourue par la souris durant la saisie et par conséquent de diminuer la fatigue physique.

Les claviers monotapes non optimisés demandent un effort plus ou moins considérable pour la saisie. La distance parcourue par la souris est très importante lorsque l'utilisateur utilise un dispositif de type joystick pour contrôler la souris.

Nous pensons que les claviers multitapes non optimisés ne sont pas forcément les mieux adaptés aux utilisateurs handicapés physiques de types IMC athétosiques à cause du temps imposé pour saisir une lettre. L'étude préliminaire de tous les types de claviers virtuels effectuée par Guerrier et ses collègues a montré que leur utilisation peut provoquer un stress chez les utilisateurs IMC, et par conséquent induire un ralentissement de la saisie [Guerrier *et al.*, 2011b].

D'un point de vue général, le clavier virtuel est l'outil le plus utilisé pour la saisie par les personnes handicapées, et il est peut-être le remplaçant du clavier physique pour les personnes valides [Isokoski, 1999]. Le premier fait est dû aux nombreuses années de recherche dans le domaine de l'entrée de texte qui ont permis de déboucher sur des innovations telle que la prédiction de mots. Malgré ces évolutions, la saisie par clavier virtuel reste lente et fatigante pour les personnes handicapées moteur de type IMC.

### 3. Systèmes d'aide à la communication à base de pictogrammes pour les personnes handicapées mentales

Dans cette partie, nous allons décrire un ensemble de logiciels d'aide à la communication à base de pictogrammes (et le plus souvent de synthèse vocale). Ils sont principalement destinés actuellement à des personnes handicapées mentales (Trisomie 21, Autisme, Syndrome de Martin Bell et Aphasie), mais le fait d'utiliser des pictogrammes a retenu notre attention. Plusieurs logiciels représentatifs de ce type sont passés en revue dans cette partie.

### 3.1. Description de systèmes représentatifs

**PHRASEUR** (Figure 27) est un logiciel d'aide à la communication disposant d'une synthèse vocale qui permet de créer des claviers virtuels avec du texte, des images et des touches de fonctions, de bâtir des jeux, d'envoyer des messages ou de lancer des applications.

**Avantage** : les nombreux pictogrammes permettent de tenir une conversation dans de nombreux domaines.

**Inconvénient** : La synthèse vocale n'est pas de très bonne qualité, mais reste fonctionnelle.

**Appréciation sur le système** : L'utilisation est fatigante à cause de l'organisation des pictogrammes qui sont difficiles à trouver.

**Société** : Versi SARL

**Date de réalisation** : 2004

**Site ou référence** : <http://sarl-versi.fr/logiciels-aiaca/phrasseur/>

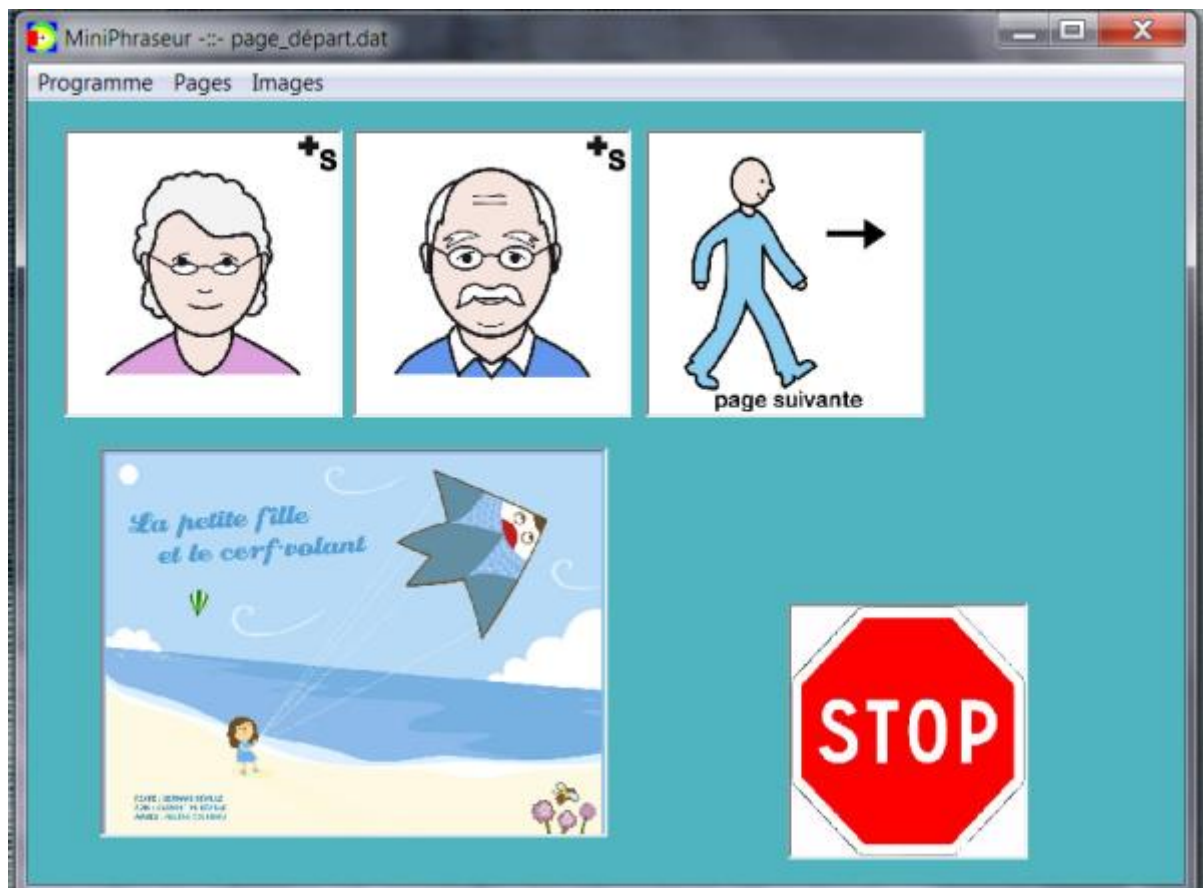


Figure 27. Page-écran de PHRASEUR

**PHOTO TALK** (Figure 28) est un système d'aide à la communication avec des photos; il est prévu pour être installé sur les appareils mobiles. Ce logiciel est destiné aux personnes ayant une aphasie. Sur la figure 31, nous pouvons distinguer un exemple de photographies proposées par le logiciel PHOTO TALK.

**Avantage** : l'utilisateur peut ajouter lui-même des photos ; cela permet de personnaliser le logiciel.

**Inconvénient** : l'utilisation des appareils mobiles demande une précision dans les mouvements. Cela n'est pas compatible avec tous les handicaps moteurs (ex: une personne IMC athétosique ne peut le plus souvent pas l'utiliser).

**Appréciation sur le système** : l'utilisation des photos peut demander une concentration supplémentaire par rapport aux pictogrammes.

**Date de réalisation** : 2004

**Site ou référence** : [Allen *et al.*, 2007] [Hilliges *et al.*,2009]



Figure 28. Page-écran de PHOTO TALK

**CLICKER** (Figure 29) est un logiciel d'aide à la communication, riche en fonctionnalités. Il est destiné aux personnes privées de la parole ou qui ont de très importantes difficultés à s'exprimer par écrit. Il permet de taper un texte et de le faire lire par une synthèse vocale, ou bien de communiquer grâce à une grille entièrement paramétrable.

**Avantages** : il est possible d'ajouter des photos et des vidéos, la configuration est facile. Cela permet de personnaliser le logiciel selon les besoins de l'utilisateur.

**Inconvénient** : L'organisation des pictogrammes est compliquée, cela ralentit la formulation des phrases.

**Appréciation sur le système** : la complexité de l'arborescence rend l'utilisation pénible pour une personne handicapée moteur.

**Société**: Cricksoft

**Date de réalisation** : 2005

**Site ou référence** : [Bellengier *et al.*, 2004] [Collignon *et al.*, 2003]





Figure 29. Page-écran de CLICKER

**Mind Express** (Figure 30) est un logiciel d'aide à la communication permettant de taper un texte et de le faire lire par une synthèse vocale ou bien de communiquer par l'intermédiaire de pictogrammes grâce à une grille entièrement paramétrable.

**Avantages** : l'utilisateur peut utiliser des images, des photos et des vidéos. Il est aussi possible d'envoyer des e-mails. L'utilisateur peut créer son propre clavier, et par conséquent l'optimiser par rapport à ses besoins.

**Inconvénient** : le nombre important de clics causé par la trop grande profondeur de l'arborescence des pictogrammes engendre une fatigue physique pendant l'utilisation.

**Appréciation sur le système** : le fait de pouvoir créer son propre clavier est un atout majeur.

**Société** : Jabbla

**Date de réalisation** : 2006

**Site ou référence** : [Bellengier *et al.*, 2006]

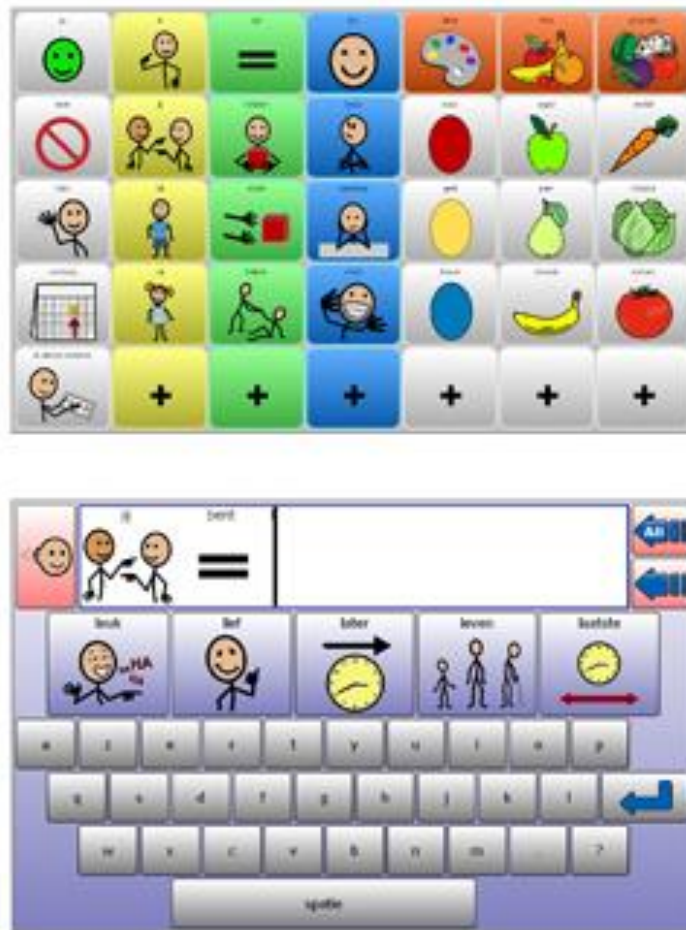


Figure 30. Mind Express

**DONNER LA PAROLE** (Figure 31) est une aide à la saisie se composant de deux claviers virtuels, un dictionnaire de mots, un lecteur permettant de lire à haute voix le texte saisi grâce à un synthétiseur de parole et enfin un gestionnaire de phrases préenregistrées.

**Avantages** : il est facile à l'utilisation, le dictionnaire est très complet.

**Inconvénients** : on peut écrire uniquement dans l'éditeur du logiciel ; de plus la prédiction n'est pas dynamique ce qui ne permet pas d'accélérer la saisie.

**Appréciation sur le système** : il aurait été préférable de faire une prédiction de mots très performante afin de ne pas ralentir la discussion.

**Date de réalisation** : 2007

**Site ou référence** : [Barbot *et al.*, 1998]

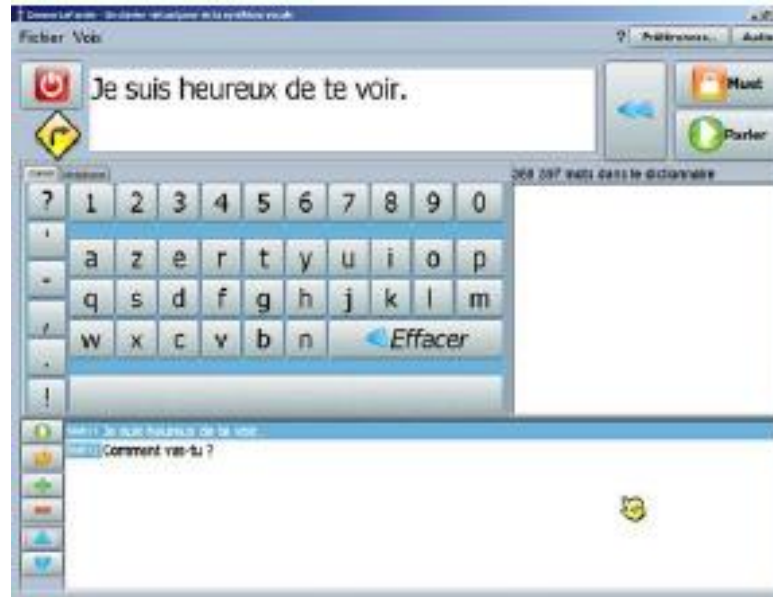


Figure 31. DONNER LA PAROLE

**AXELIA** (Figure 32) est un logiciel permettant la construction de phrases à partir de pictogrammes. Pour ce faire, l'utilisateur doit sélectionner successivement des pictogrammes. Ces derniers sont rassemblés en différents ensembles : des mots, des symboles fonctionnels, des opérateurs et des expressions usuelles. Un moteur de grammaticalisation permet de produire des séquences de pictogrammes respectant la grammaire française.

**Avantages** : on peut trouver un grand nombre de mots dans le dictionnaire, le paramétrage du logiciel est assez simple. L'utilisateur peut tenir une conversation dans de nombreux domaines.

**Inconvénient** : Le logiciel est plutôt destiné à bien construire son propos, ce qui n'en fait pas un accélérateur de dialogue performant lorsque l'on travaille en défilement : produire une phrase correcte demande un nombre de clics plus conséquent qu'à l'ordinaire.

**Appréciation sur le système** : les nombreux sous-menus rendent l'utilisation difficile.

**Société** : Alexia

**Date de réalisation** : 2009

**Site ou référence** : [Blache *et al.*, 2007] [Bellengier *et al.*, 2006]

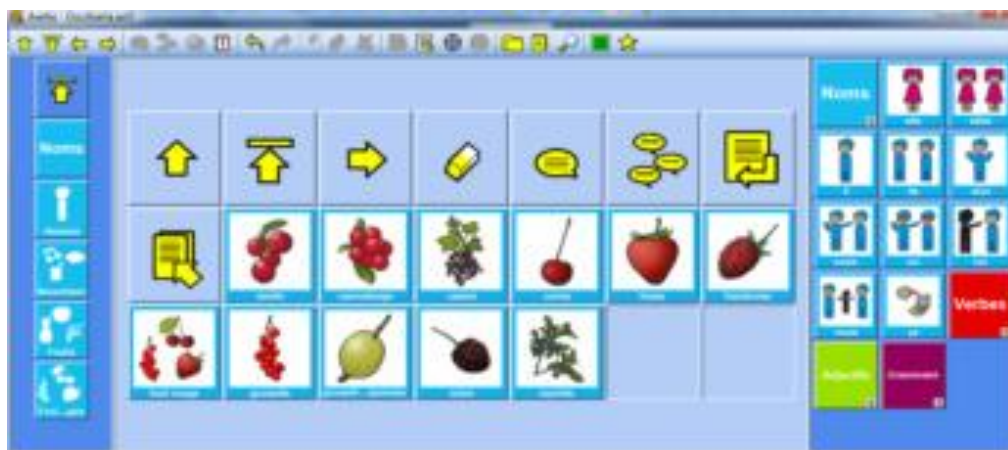


Figure 32. AXELIA

Avec **pVoice** (Figure 33), l'utilisateur sélectionne les images ou symboles qui généreront des mots sous forme auditive.

**Avantages** : le graphisme est soigné. La synthèse vocale est correcte. L'utilisateur insère ses propres images et les mots associés.

**Inconvénients** : on ne peut pas modifier les touches d'un tableau, le logiciel est fourni sans pictogramme, on ne peut l'utiliser en traitement de texte.

**Appréciation sur le système** : l'utilisateur est obligé de créer lui-même l'organisation des pictogrammes. Ceci peut être compliqué pour un utilisateur novice en informatique.

**Date de réalisation** : 2009

**Site ou référence** : <http://www.oatsoft.org/Software/pvoice>



Figure 33. pVoice

### 3.2. Conclusion sur les logiciels d'aide à la communication à base de pictogrammes

Ces systèmes visent à créer des phrases rapidement grâce à des pictogrammes ou des photos. Ce principe est très utilisé dans le domaine du handicap mental. L'utilisateur fait moins de mouvements pour saisir des phrases et cela diminue donc sa fatigue physique, ce qui s'avère donc utile pour le profil d'utilisateur (IMC athétosique) qui nous préoccupe dans le cadre de cette recherche.

Comme nous le verrons dans les chapitres suivants, ce principe de base a été repris pour la conception du système proposé dans ce mémoire. L'utilisateur pourra construire des phrases (ou parties de phrases) ou du code en sélectionnant un ensemble de pictogrammes et non en saisissant l'ensemble des mots. Cela devrait rendre la discussion plus fluide dans une interaction homme-homme ou accélérer la saisie dans le cas de diverses activités interactives.

## 4. Systèmes de reconnaissance vocale pour les personnes handicapées physiques

Dans cette partie, nous allons décrire différents systèmes de reconnaissance vocale à l'attention des personnes handicapées moteurs en général. Ces logiciels permettent de contrôler un ordinateur sans effort phy-

sique, ce qui est un atout majeur dans le domaine du handicap physique. La description de ces systèmes représentatifs est suivie d'une synthèse.

#### 4.1. Description de systèmes représentatifs

Le principe d'utilisation de **SPEECH BASED CURSOR CONTROL** (Figure 34) part du fait de découper l'écran en plusieurs zones ; l'utilisateur sélectionne la zone désirée en prononçant le numéro de la zone. Ce processus se reproduit jusqu'à ce que l'utilisateur atteigne le bouton voulu. La figure montre les différentes étapes pour sélectionner par la voix un endroit précis d'un écran d'ordinateur.

**Avantages** : l'utilisation du pointeur est facilitée pour les handicapés moteurs car l'utilisateur le fait par la voix ; par conséquent il n'effectue aucun mouvement avec ses membres supérieurs.

**Inconvénient** : le logiciel est difficilement utilisable par une personne ayant des difficultés d'élocution (cas des personnes IMC athétosiques).

**Appréciation sur le système** : avec le système, il est difficile d'atteindre un bouton de petite taille car l'utilisateur doit prononcer plusieurs fois le numéro de la zone voulue.

**Date de réalisation** : 2000

**Site ou référence** : [Dai *et al.*, 2004] [Qiang *et al.*, 2006]

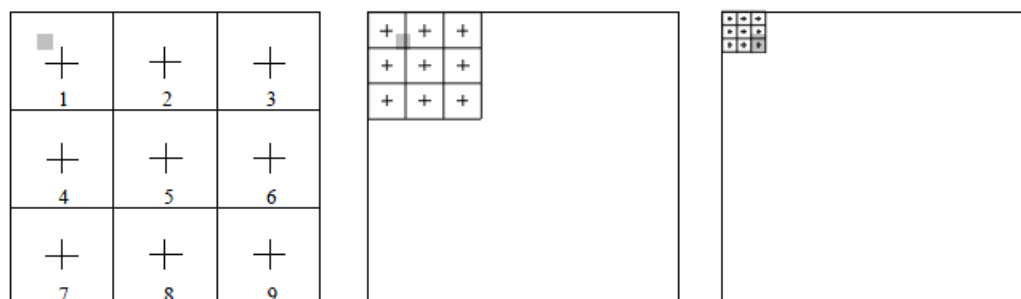


Figure 34. SPEECH BASED CURSOR CONTROL

**VOICE ACTIVATED SYNTAX DIRECTED EDITOR** (Figure 35) consiste en un système de programmation par reconnaissance vocale. La Figure 35 représente une boîte de dialogue permettant de créer, avec la voix, une boucle « for ». L'utilisateur prononce les paramètres de la fonction (par exemple  $i=0$ ,  $i<10$ ,  $i++$ ). Finalement le logiciel insère la boucle dans le code.

**Avantage** : le logiciel permet d'écrire du code rapidement et sans nécessité d'effort physique de la part de l'utilisateur.

**Inconvénient** : le système n'est pas adapté pour tous les types de handicaps, par exemple les personnes dysarthriques, car la prononciation de ces personnes est déformée.

**Appréciation sur le système** : durant l'utilisation de ce logiciel, l'utilisateur ne doit pas fournir d'efforts physiques avec ses membres supérieurs.

**Date de réalisation** : 2001

**Site ou référence** : [Hubbell *et al.*, 2006] [Froeseth *et al.*, 2005]

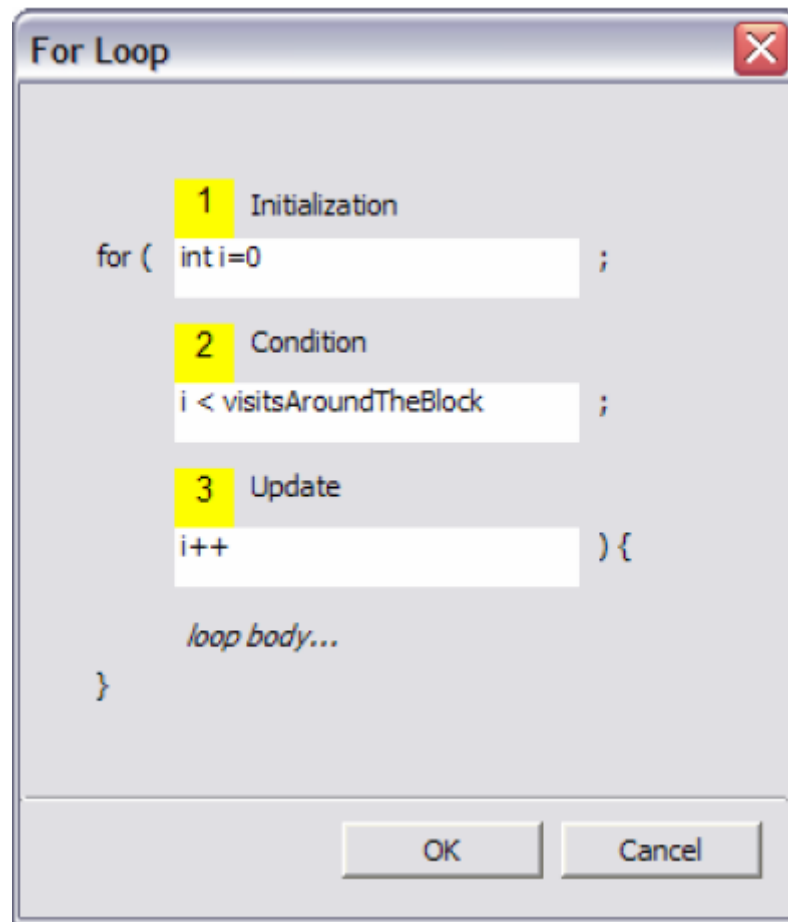


Figure 35. VOICE ACTIVATED SYNTAX DIRECTED EDITOR : fenêtre de description des paramètres d'une boucle à fournir vocalement

Un système de **reconnaissance vocale pour des utilisateurs IMC** (Figure 36) a été proposé. Ce système est destiné plus particulièrement aux personnes ayant une dysarthrie (trouble de l'articulation de la parole, d'origine dite centrale, le système nerveux étant lésé). Les chercheurs concernés ont essayé de proposer un algorithme permettant de transformer le signal de parole des personnes handicapées en signal de parole normalisé

**Avantage** : les personnes ayant ce type de problème d'élocution pourraient utiliser la reconnaissance vocale. Les personnes de ce type ont souvent des problèmes avec leurs membres supérieurs, par conséquent un tel système peut contribuer à faciliter l'utilisation de l'outil informatique.

**Inconvénient** : le système rencontre des difficultés pour reconnaître certains types de voix, comme celles déformées par une dysarthrie, avec en outre des taux d'erreurs importants

**Appréciation sur le système** : ce système possède un fort potentiel pour effectuer de la saisie du fait que l'utilisateur ne fait aucun effort physique durant l'utilisation d'un ordinateur.

**Date de réalisation** : 2003

**Site ou référence** : [Suanpirintr *et al.*, 2007] [Hubbell *et al.*, 2006]

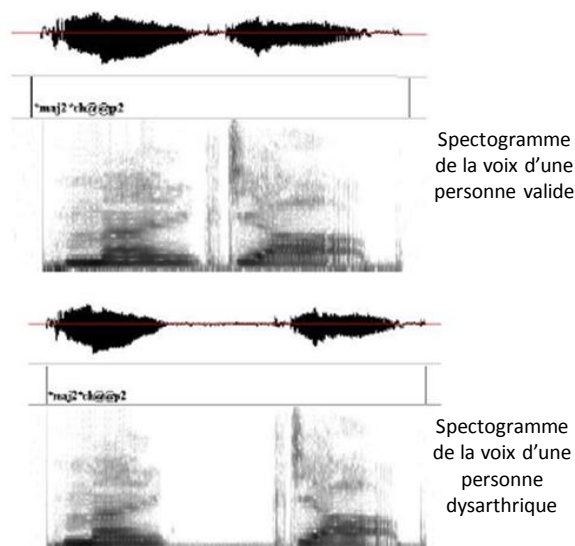


Figure 36. Reconnaissance vocale pour les IMC (adapté de [Suanpirintr *et al.*, 2007])

#### 4.2. Synthèse sur ces systèmes de reconnaissance vocale dédiés

La reconnaissance vocale nécessite encore des avancées pour être vraiment efficace dans le domaine qui nous concerne, malgré le fait que cela fasse une cinquantaine d'années que des recherches et développements sont menés autour des systèmes de reconnaissance vocale [Furui, 2005] [Hinton *et al.*, 2012].

La reconnaissance vocale pour les personnes atteintes de dysarthrie n'est pas encore très évoluée, elle ne fonctionne pas avec tous les types de voix, les taux d'erreur sont encore très importants. Cependant, nous pensons que de tels systèmes possèdent un fort potentiel pour les personnes handicapées motrices possédant des difficultés à effectuer des actions avec leurs membres supérieurs, comme les IMC athétosiques, car cela ne demande moins d'effort physique durant l'utilisation d'un ordinateur.

### 5. Autres types de systèmes de saisie dédiés aux personnes handicapées physiques

Dans cette partie, nous présentons les autres types de systèmes de saisie (ou de communication) recensés dans la littérature : interface cerveau-ordinateur, guide doigts, saisie avec deux boutons, EdgeWrite. Après les avoir passés en revue, cette partie se termine par une synthèse.

#### 5.1. Description de systèmes représentatifs

**Une interface cerveau-ordinateur** (Figure 37) est une interface de communication directe entre le cerveau de l'utilisateur et un dispositif externe (un ordinateur). De tels systèmes peuvent être conçus pour assister, améliorer ou réparer des fonctions humaines de cognition ou d'action défaillantes. Ce type de périphérique est fondamentalement différent de toute autre interface homme-machine : une telle liaison ne requiert en effet aucune transformation préalable du signal électrique émis par l'activité cérébrale en activité musculaire (psychomotrice), cette dernière étant usuellement traduite en signal d'entrée pour la machine. Les interfaces de ce type font l'objet de recherches actives au niveau international actuellement.

**Avantage :** la majorité des personnes handicapées peuvent l'utiliser.

**Inconvénient :** l'interface cerveau ordinateur ne permet pas d'effectuer des actions évoluées (faire de la saisie en pensant directement aux mots, quel que soit le domaine d'application). Pour le moment, la saisie se fait le plus souvent par l'intermédiaire d'un clavier virtuel à balayage. Lorsque le carré lumineux sélectionne la touche voulue, l'utilisateur doit penser à un mot (par exemple "OK") pour valider.

**Appréciation sur le système :** ce système est prometteur vu qu'il ne demande aucun effort physique. Cependant on peut considérer qu'il n'est seulement qu'à ses débuts. Il est aussi difficilement utilisable en mobilité.

**Date de réalisation :** 1970 (pour les premières avancées)

**Site ou référence :** [Lotte *et al.*, 2013] [Neerdael *et al.*, 2014] [Wolpaw *et al.*, 2002]



Figure 37. Interface cerveau-ordinateur

**Le guide-doigts** (Figure 38) est un système se composant d'une plaque en plastique perforée aux endroits des touches d'un clavier physique. Cela permet à l'utilisateur d'appuyer sur la touche voulue sans se tromper (en étant guidé en quelque sorte).

**Avantage :** Le principal avantage de ce système est le fait de pouvoir utiliser n'importe quel clavier physique pour lequel un guide doigt est disponible.

**Inconvénient :** Il ne concerne pas toutes les personnes athétosiques : cela dépend si la personne handicapée a appris à l'utiliser durant son enfance quand son cerveau possédait encore une plasticité importante [site : med.univrennes1.fr].

**Appréciation sur le système :** la saisie est facilitée pour les personnes handicapées moteur ayant une relativement bonne précision dans les mouvements des membres supérieurs. Mais ce n'est pas le cas de nombreuses personnes IMC athétosiques.

**Date de réalisation :** 1990

**Site ou référence :** [Collignon *et al.*, 2003] [Allison *et al.*, 2012]





Figure 38. Guide-doigts

**EdgeWrite** (Figure 39) est un système de saisie exploitant un stylet (ou un joystick). L'utilisateur dessine les lettres en un seul tracé (approche unistroke) en visant les coins de la surface de saisie avec le stylet. Ce procédé convient aux personnes handicapées qui ne sont pas athétosiques. La **Figure 39b** représente les mouvements à effectuer avec un joystick pour écrire un caractère alphanumérique.

**Avantage** : ce procédé permet d'accélérer la saisie car il n'y a pas de mouvement de souris.

**Inconvénient** : le système demande de la précision dans les mouvements.

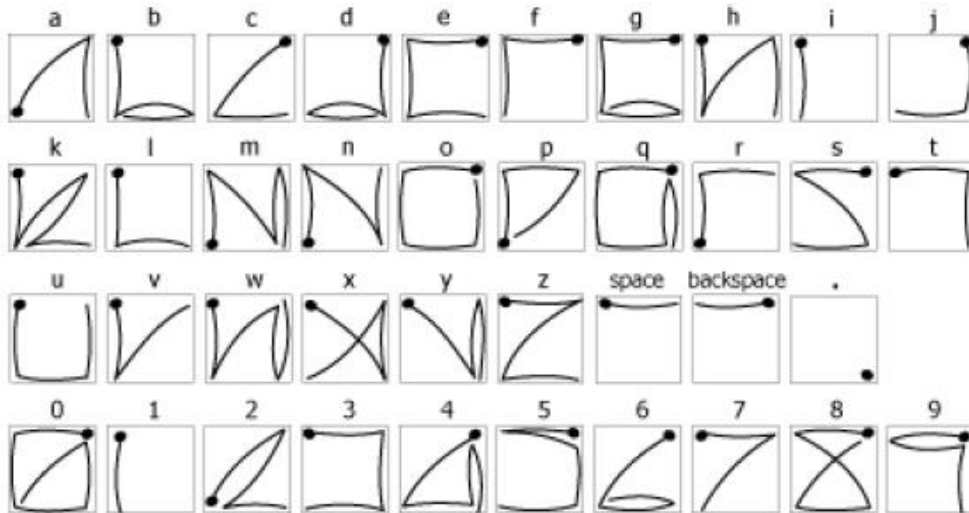
**Appréciation sur le système** : la saisie est facilitée pour les personnes handicapées moteur ayant une bonne précision dans les mouvements des membres supérieurs. Mais ce n'est pas le cas de nombreuses personnes IMC athétosiques.

**Date de réalisation** : 2003

**Site ou référence** : [Suanpirintr *et al.*, 2004][Wobbrock *et al.*, 2003] [Wobbrock *et al.*, 2004]



(a)



(b)

Figure 39. EdgeWrite : (a) principe de saisie avec un stylet, (b) gestes à produire

Un principe de **Saisie avec deux boutons** (Figure 40) a été proposé : à l'écran, un clavier virtuel est représenté sous forme de rectangle. L'utilisateur a à sa disposition deux boutons physiques, le premier pour les lignes et le deuxième pour les colonnes. Ce principe est destiné aux personnes lourdement handicapées moteur. Nous pouvons voir sur cette figure le clavier virtuel permettant d'effectuer de la saisie avec deux contacteurs. La sélection se fait automatiquement après 3 secondes d'inactivité.

**Avantage** : si l'utilisateur connaît la séquence de coins associée à chaque lettre par cœur, la saisie peut être très rapide.

**Inconvénient** : cela demande de compter les coordonnées de la lettre voulue, exigeant donc un effort de concentration supplémentaire.

**Appréciation sur le système** : ceci peut être intéressant sur un dispositif mobile car avec seulement deux boutons l'utilisateur peut avoir accès à toutes les fonctionnalités.

**Date de réalisation** : 2004

**Site ou référence** : [Baljko *et al.*, 2006] [Wobbrock *et al.*, 2003]

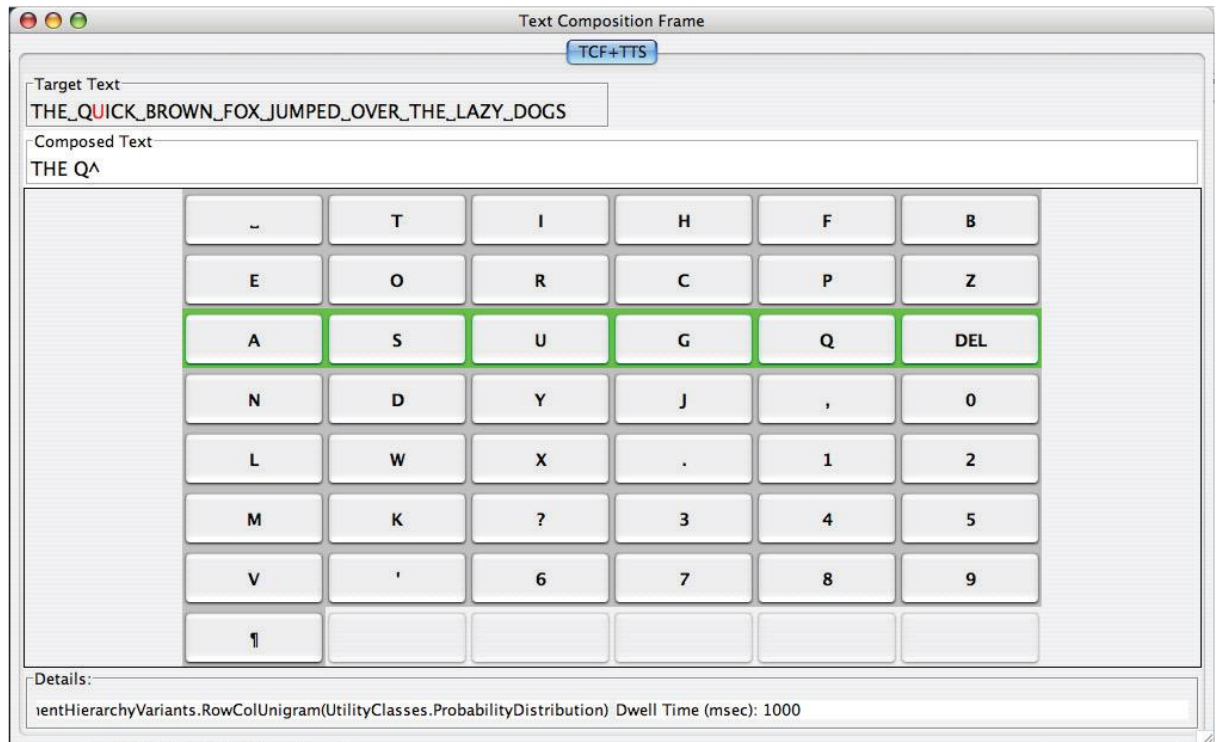


Figure 40. Saisie avec deux boutons (ceux-ci étant placés sur le bureau)

## 5.2. Synthèse sur ces autres types de systèmes

Ces quatre types de systèmes (interface cerveau-ordinateur, guide-doigts, EdgeWrite, système de saisie à deux boutons) permettent d'effectuer de la saisie sans déplacer la souris.

L'interface cerveau-ordinateur n'est pas encore très développée, c'est-à-dire que les utilisateurs peuvent effectuer uniquement des tâches simples comme la saisie à l'aide d'un clavier virtuel comportant un système de balayage. Cependant nous pensons que cette technologie va se développer durant les prochaines années, et ainsi devenir une aide très performante pour les personnes handicapées moteur.

Le guide doigts permet aux personnes handicapées moteur d'effectuer de la saisie avec clavier physique. Ce système est efficace seulement si l'utilisateur a appris à l'utiliser durant son enfance, car son cerveau possède encore une grande plasticité [Kolb *et al.*, 2001].

La méthode EdgeWrite exploitant un stylet demande de la précision dans les mouvements, et par conséquent ce type de système n'est pas compatible avec les personnes IMC. Dans ce même domaine, il existe des claviers virtuels gestuels. L'utilisateur doit effectuer des mouvements précis avec le pointeur de la souris [Plamondon *et al.*, 2000] et [Bunke, 2003]. Les utilisateurs IMC ne peuvent pas utiliser de tels systèmes, car ils n'ont pas assez de précision dans leurs mouvements.

Le système avec les deux boutons est potentiellement intéressant car on peut imaginer de reprendre ce principe pour un système d'aide à la communication en l'adaptant avec deux gros boutons virtuels sur l'écran de l'ordinateur. Un rectangle lumineux pourrait être contrôlable au travers de ces deux touches. L'utilisateur sélectionnerait alors les pictogrammes avec le rectangle lumineux.

## 6. Synthèse globale sur les systèmes d'aide étudiés

Les tableaux de synthèse 1 à 4 servent à comparer sur deux critères (avantages et inconvénients pour les handicapés moteur de type IMC athétosique) l'ensemble des systèmes décrits précédemment.

Tableau 1. Synthèse sur les claviers virtuels

Nom du système	Avantages pour les handicapés moteur de type IMC, tétraplégiques, athétosiques.	Inconvénients pour les handicapés moteur de type IMC, tétraplégiques athétosiques
<b>Dvorak</b>	Les lettres les plus utilisées sont regroupées, donc il y a minimisation des mouvements.	Les autres lettres sont trop éloignées.
<b>Dasher</b>	Ce système est utilisable sans faire de clic, par conséquent il y a diminution du nombre de mouvements.	L'effort de concentration est trop élevé, et il demande un contrôle moteur très fin du dispositif de pointage.
<b>Metropolis</b>	La forme et la disposition des touches accélèrent la saisie.	Ce clavier demande environ 40 h d'apprentissage, selon [Harbuschn, 2003].
<b>Opti et Fitaly</b>	Le fait de rassembler les lettres les plus probables au centre du clavier permet d'accélérer la saisie.	Le clavier ne propose pas de proposition de mots.
<b>Skeleton Keys</b>	Il y a optimisation du placement des lettres, par conséquent optimisation des mouvements de la souris.	Un effort de concentration est requis pour trouver les lettres à cause du changement permanent de la place de celles-ci.
<b>Comlis</b>	Le fait que les lettres les plus utilisées soient en première position diminue la distance parcourue par la souris.	Malgré l'optimisation, le temps de saisie reste important.
<b>Chewing Word</b>	La réorganisation des touches permet d'accélérer la saisie. Il y a également des propositions de mots à côté des lettres.	L'effort de concentration est élevé.
<b>K-THOT optimisé</b>	Le parcours de la souris est diminué, par conséquent l'effort physique aussi.	L'effort de concentration est important.
<b>XPeRT</b>	Le regroupement des lettres permet d'accélérer la saisie.	Le fait de ne pas avoir de prédiction de mot ralentit la saisie.
<b>B-Link</b>	Le logiciel offre un outil de souris virtuelle. On peut également arrêter l'ordinateur à partir du clavier.	Le clavier ne fonctionne pas avec toutes les webcams et demande beaucoup de concentration.
<b>H-Mouse</b>	Le nombre réduit de touches permet d'accélérer la saisie.	On ne peut pas écrire directement dans un traitement de texte.
<b>XPeRT</b>	La disposition des lettres permet la diminution de l'effort durant la saisie.	L'apprentissage du clavier est long.
<b>KEYGLASS</b>	La prédiction de lettres permet d'accélérer la saisie.	Le placement des lettres n'est pas optimisé.
<b>KeyStrokes</b>	La prédiction de mots est très efficace.	Il y a absence de défilement.
<b>CLAVICOM</b>	Les propositions de mots sont intéressantes.	Il demande beaucoup d'efforts pour la saisie.
<b>CLAVICOM NG</b>	Les propositions de mots sont intéressantes.	Il demande beaucoup d'efforts pour la saisie.
<b>CLICK-N-TYPE</b>	On peut personnaliser le clavier.	Pour quitter le mode balayage, on doit appuyer sur le bouton ECHAP sur le clavier physique, ce qui est impossible pour les utilisateurs handicapés moteur tétraplégiques.
<b>Sibylle</b>	La prédiction est très performante.	L'effort de concentration pour lire les prédictions de mots
<b>AZERTY</b>	Il est facile d'utilisation, permet de	Les lettres du clavier ne sont pas placées de

	créer son propre dictionnaire et de redémarrer l'ordinateur à l'aide du clavier.	manière optimisée pour la saisie.
<b>CLAVIDEF</b>	L'organisation des lettres reprend l'ordre alphabétique, par conséquent l'utilisateur peut trouver la lettre voulue facilement.	L'effort physique requis est important.
<b>DISCOVER SCREEN</b>	Il est facile à configurer grâce à un assistant.	Il n'a pas de prédiction de mots.
<b>COMFORT ON-SCREEN KEYBOARD</b>	Il comporte une bonne prédiction de mots.	Il demande beaucoup d'efforts pour la saisie.
<b>CVK</b>	Il comporte une bonne prédiction de mots.	L'effort mental requis est important.
<b>CLAVIER VISUEL WINDOWS</b>	Les propositions de mots sont intéressantes.	Il demande un effort physique important pour la saisie
<b>BEKEY VIRTUAL KEYBOARD</b>	Le clavier possède 23 dictionnaires dans des langues différentes.	La taille et la forme du clavier sont personnalisables mais pas la place des touches.
<b>L'UKO-II</b>	Les quatre touches du clavier diminuent fortement la distance parcourue par la souris.	Le fait de taper plusieurs fois sur le même bouton peut perturber l'utilisateur.
<b>K-HERMES</b>	La réduction du nombre de boutons engendre la diminution de déplacement de la souris et de la fatigue physique.	Le temps limité pour saisir les lettres stresse l'utilisateur.

Tableau 2. Synthèse sur les systèmes à base de pictogrammes

<b>Nom du système</b>	<b>Avantages pour les handicapés moteur de type IMC, tétraplégiques, athétosiques.</b>	<b>Inconvénients pour les handicapés moteurs de types IMC tétraplégiques</b>
<b>PHRASEUR</b>	Les pictogrammes sont de grande taille.	Aucun
<b>PHOTO TALK</b>	Aucun	Ce système fonctionne seulement sur les téléphones portables, par conséquent un utilisateur IMC ne peut pas l'utiliser.
<b>Clicker</b>	L'utilisateur peut créer son propre clavier, et par conséquent l'optimiser par rapport à ses besoins.	Les différents pictogrammes sont organisés dans de nombreuses rubriques.
<b>Mind Express</b>	Aucun	Les pictogrammes sont beaucoup trop petits.
<b>DONNER LA PAROLE</b>	Aucun	Le fait de saisir la totalité des mots ralentit la discussion.
<b>AXELIA</b>	Les pictogrammes sont de grande taille, cela permet de les sélectionner facilement.	Le nombre important de menus rend l'utilisation fatigante.
<b>pVOICE</b>	Les pictogrammes sont de grande taille.	Aucun

Tableau 3. Synthèse sur les systèmes de reconnaissance vocale

Nom du système	Avantages pour les handicapés moteur de type IMC, tétraplégiques, athétosiques.	Inconvénients pour les handicapés moteurs de types IMC tétraplégiques
<b>SPEECH BASED CURSOR CONTROL</b>	Aucun effort physique n'est demandé pour contrôler un ordinateur.	Ce système ne fonctionne pas avec des personnes ayant des problèmes d'élocution.
<b>VOICE ACTIVATED SYNTAX DIRECTED EDITOR</b>	L'utilisateur peut programmer rapidement.	Ce système ne fonctionne pas avec des personnes ayant des problèmes d'élocution.
<b>Reconnaissance vocale pour les IMC</b>	Cela permet de faire de la saisie sans aucun effort physique.	Le taux d'erreur reste important.

Tableau 4. Synthèse sur les autres types de systèmes de saisie dédiés aux personnes handicapées physiques

Nom du système	Avantages pour les handicapés moteur de type IMC, tétraplégiques, athétosiques.	Inconvénients pour les handicapés moteurs de types IMC tétraplégiques
<b>Interface cerveau-ordinateur</b>	La majorité des personnes handicapées peut l'utiliser	Cette interface ne permet pas d'effectuer des actions évoluées de saisie
<b>Guide-doigts</b>	Ce procédé permet d'accélérer la saisie car il n'y a pas de mouvement de souris.	Le système demande de la précision dans les mouvements.
<b>EdgeWrite</b>	Cela peut permettre d'accélérer la saisie	Il demande une grande précision dans les mouvements
<b>Saisie avec deux boutons</b>	Elle demande peu d'effort physique pour la saisie.	Elle demande une concentration permanente pour sélectionner la lettre voulue.

## 7. Conclusion

Dans cet article focalisé sur les utilisateurs de profil Infirmes Moteur Cérébral (IMC), il s'agissait de dresser un état de l'art du domaine en étudiant les différents aides à la communication actuellement disponibles, susceptibles de pouvoir être utilisés par ces utilisateurs, et ceci sans souci d'exhaustivité, mais plutôt de représentativité. Ces aides se composent de claviers virtuels, de logiciels à base de pictogrammes, de systèmes de reconnaissance vocale et d'autres systèmes variés (interfaces cerveau-ordinateur, aides physiques...). La majorité de ces systèmes est destinée aux personnes possédant un handicap moteur et/ou mental.

Les claviers virtuels sont la base de la communication assistée par ordinateur [Furukawa *et al.*, 2001]. De nos jours, on peut trouver de nombreux types de claviers. Chacun comporte des avantages et des inconvénients selon le type de handicap de l'utilisateur. Ce type de systèmes reste un moyen long et fatigant pour la saisie.

Les logiciels à base de pictogrammes permettent de former des phrases simplement et rapidement. Ces programmes sont principalement destinés à des utilisateurs handicapés mentaux. Les images représentent soit un objet soit une action. Plusieurs études ont été effectuées afin de trouver la représentation idéale pour chaque mot de la langue française [Vaillant, 1997] ; on peut également créer une petite animation d'une à quelques secondes qui représente une action.

La reconnaissance vocale est un moyen prometteur pour interagir avec un ordinateur du fait de la rapidité de la parole. Cependant, ce système ne fonctionne pas ou fonctionne mal avec les personnes qui ont des problèmes d'élocution. Des recherches sont en cours afin de tenter de résoudre ce problème. Mais un long chemin reste encore à parcourir.

Les autres systèmes étudiés (interfaces cerveau-ordinateur, aides physiques) comportent également de nombreuses lacunes et sont en particulier difficilement utilisables en mobilité.

La voie suivie dans le cadre de nos recherches a été de proposer, maquetter et évaluer en laboratoire et en situation de mobilité un système d'aide à la communication appelé COMMOB (COMmunication et MOBilité) pouvant être installé sur une tablette fixée sur le fauteuil roulant, commandable par joystick (commande infra-rouge) [Guerrier *et al.*, 2013a] [Guerrier *et al.*, 2013b] [Guerrier *et al.*, 2014] [Guerrier, 2015], et donnant accès à une palette de fonctionnalités, visant à faciliter les interactions, aussi bien avec des systèmes, qu'avec des personnes (en s'appuyant sur des pictogrammes pour accélérer les interactions). Il s'agirait maintenant de le mettre entre les mains d'un ensemble d'utilisateurs de même profil (mais avec des degrés différents de handicap), de l'enrichir, de continuer à l'évaluer dans différentes situations, de travail, de déplacement, ou encore de discussion.

## Remerciements

Les auteurs remercient le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur qui a financé la thèse via un contrat doctoral handicap.

## Références bibliographiques

- Abraham, M., & Desclés, J. P. (1992). Interaction between lexicon and image: Linguistic specifications of animation. In *Proceedings of the 14th conference on Computational linguistics*, Volume 3, pp. 1043-1047, Association for Computational Linguistics.
- Abraham, M., Boissière, P., Breton, O., Brunet, G., Le Saux, F., Guyomar, M., & Vigouroux, N. (2012). Palliacom: système multimodal d'aide à la communication. *IRBM*, 33(2), pp. 173-181.
- Abraham, M. (2003). Les télécommunications pour les handicapés. In *Annales des télécommunications*, Springer-Verlag, 2003. p. 876-889.
- Allain, H., Bentue-Ferrer, D., Rochongar, P., & Schuck, S. (1999). La fatigue : de la biologie à la pharmacologie. *Bulletin Veille Sommeil*, 10, pp. 6-13.
- Allen, M., McGrenere, J., & Purves, B. (2007). The design and field evaluation of PhotoTalk: A digital image communication application for people with aphasia. In *Proc. ASSETS' 07*, October 15-17, 2007, Tempe, Arizona, USA.
- Allison, B. Z., Dunne, S., Leeb, R., Millán, J. D. R., & Nijholt, A. (2012). Towards practical brain-computer interfaces: bridging the gap from research to real-world applications. Springer Science & Business Media.
- Antoine, J.Y., & Maurel, D. (2007). Aide à la communication pour personnes handicapées et prédiction de texte: problématique, état des lieux et retour sur trente ans de recherche en communication augmentée. *TAL, Traitement Automatiques des Langues*, vol 48, p. 9-46.
- Baas, M., Guerrier, Y., Kolski, C., Poirier F. (2010). Système de saisie de texte visant à réduire l'effort des utilisateurs à handicap moteur. In G. Calvary, M. Wolff (Eds.), *Proceedings of the Ergonomie et Informatique Avancée Conference* (12-15 October), ACM, Digital Library, Biarritz, pp. 19-26.
- Badr, G. (2011). *Modèle théorique et outil de simulation pour une meilleure évaluation des claviers logiciels augmentés d'un système de prédiction de mots*. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.
- Baljko B., Tam A. (2006). Indirect Text Entry Using One or Two Keys. In *Proc. ASSETS'06*, October 22-25, 2006, Portland, Oregon, USA.
- Ballayer, R. (2005). *Guide d'accès à l'informatique auprès du public handicap moteur en Pays de Loire*. Disponible à : [www.handitec.com/infoservices/Doc/guide\\_AT\\_informatique16mars2005.pdf](http://www.handitec.com/infoservices/Doc/guide_AT_informatique16mars2005.pdf)
- Barbot, F. (1998). Paroles d'enfants IMC. *L'Infirmité Motrice d'origine cérébrale*, p. 23.

- Belatar, M., & Poirier, F. (2007). UniGlyph: une méthode universelle pour la saisie de texte sur dispositifs mobiles. In *Proceedings of the 19th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pp. 111-118, ACM.
- Bellengier, E., Blache, P., & Rauzy, S. (2004). PCA: Un système de communication alternative évolutif et réversible. In *Actes de la conférence ISAAC 2004*, pp. 78-85, 6-8 mai 2004, Neuchâtel, Suisse.
- Bellengier, E., Rauzy, S., & Marty, J. (2006). Système de communication iconique: Reformulation avancée. In *Actes de la conférence IFRATH, Handicap 2006*, juin 7-9, Paris.
- Bellman, T., & MacKenzie, I.S. (1998). A probabilistic character layout strategy for mobile text entry. In *Proceedings of Graphics Interface '98*, pp. 168-176.
- Bérard, C., Girardot, F., Payan, C., & le Groupe d'étude MFM (2006). *MFM, Mesure de Fonction Motrice pour les maladies neuromusculaires, Manuel de l'utilisateur*. Hospices Civils de Lyon, Service de rééducation pédiatrique, Escale, 2ième édition 2006.
- Bérard, C. (2004). Clavier-écran : concevoir avec les utilisateurs ». In *Proc. Handicap 2004*, Paris, pp. 83-88, 17-18 Juin.
- Blache, P., & Rauzy, S. (2007). Le module de reformulation iconique de la Plateforme de Communication Alternative. In *Actes du workshop RLCAA, conférence TALN*, vol. 2, Toulouse, France, pp. 519-528, 5-8 juin.
- Boissière, P., & Dours, D. (2002). A Proposal of an Evaluation Framework for Writing Assistance Systems: Application to VITIPI. In *Proceedings of 8th International Conference on Computer Helping People with special needs (ICCHP 2002)*, Linz, Austria, pp. 276-278, 15-20 July.
- Brangier, E., & Gronier, G. (2000). Conception d'un langage iconique pour grands handicapés moteurs aphasiques. In *Proc. Handicap 2000*, Paris, 15 & 16 Juin 2000, pp. 93-100.
- Brangier, E., Gronier, G., & Pino, P. (2001). La conception d'icônes permettant la communication entre de grands handicapés moteurs aphasiques et leur entourage : éléments de communication palliative. *Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM)*, 2 (2), pp. 31-54.
- Brook, M. (2000). *Introducing the Dvorak Keyboard*. Disponible à : <http://www.mwbrooks.com/dvorak/index.html>
- Bunke, H. (2003). Recognition of Cursive Roman Handwriting - Past, Present and Future. In *Proceedings of the Seventh international Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Vol. 1, August 3-6, IEEE Computer Society, Washington, DC, pp. 448-459.
- Calvary, G., Demeure, A., Coutaz, J., & Dâassi, O. (2004). Adaptation des Interfaces Homme-Machine à leur contexte d'usage. *Revue d'intelligence artificielle*, 18(4), pp. 577-606.
- Colas, S., Monmarché, N., Gaucher, P., & Slimane, M. (2006). Optimisation de l'organisation d'un clavier virtuel pour personnes handicapées par des fourmis artificielles. In *Proc. Métaheuristiques (META'06)*, Hammamet, Tunisia, 2-4 Novembre.
- Collignon, P. (2003). *L'informatique au service des handicapés*. OEM-Eyrolles.
- Dai, L., Goldman, R., Sears, A., Lozier, J. (2004). Speech-based cursor control: A study of grid-based solutions. In *Proc. ASSETS'04*, October 18-20, 2004, Atlanta, GA, USA.
- Evreinova, T., Evreinov, G., & Raisamo, R. (2004). Four-Key Text Entry for Physically Challenged People. In *Proceedings of the 8th ERCIM Workshop "User Interfaces For All"*, 28-29 June, Vienna, Austria, 12 pages. Disponible à : [www.ui4all.gr/workshop2004/files/ui4all\\_proceedings/adjunct/techniques\\_devices\\_metaphors/16.pdf](http://www.ui4all.gr/workshop2004/files/ui4all_proceedings/adjunct/techniques_devices_metaphors/16.pdf)
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), pp. 381-391.
- Froeseth, J. (2005). *A Model for Voice-Activated Visual GUI Editors*. Doctoral dissertation, Faculty of the University of South Alabama in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Computer Science, USA.



- Furui, S. (2005). 50 years of progress in speech and speaker recognition. In *Proc. SPECOM 2005*, October 17-19, Patras, Greece, pp.1-9.
- Furukawa, A., Iwatsuki, H., Nishiyama, M., Nii, E., & Uchida, A. (2001). A study on the subjective well-being of adult patients with cerebral palsy. *Journal of Physical Therapy Science*, 13(1), pp. 31-35.
- Gaudeul, V. (2008). *Communiquer sans la parole? Guide pratique des techniques et des outils disponibles*. Association ALIS, mis à jour en 2015, Accessible à : <http://www.alis-asso.fr/les-publications/publications-specialisees-dalis/>
- Grange, A. (2010). L'interface du clavier virtuel Chewing Word. In *Actes d'IHM'10, 22e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pp. 237-240, 20-23 septembre 2010, Luxembourg, ACM.
- Grange, A. (2011). L'unique prédiction. In *Actes ASSISTH'2011*, Paris, 17-19 janvier.
- Guerreiro, T., Nicolau, H., Jorge, J., & Gonçalves, D. (2010). Towards Accessible Touch Interfaces. In *Proc. ASSETS'10*, October 25-27, 2010, Orlando, Florida, USA.
- Guerrier, Y. (2010). Analyse, conception, réalisation et test de clavier virtuel pour la saisie de texte, application au domaine du handicap. Rapport de Master recherche, LAMIH, Valenciennes, sous la direction de C. Kolski et F. Poirier, Prix DREES CNSA du meilleur mémoire de master II sur le handicap et la perte d'autonomie.
- Guerrier, Y. (2015). Proposition d'une aide logicielle pour la saisie d'information en situation dégradée - Application à des utilisateurs IMC athétosiques dans des contextes liés au transport et aux activités journalières. *Mémoire de Doctorat*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Valenciennes, septembre.
- Guerrier, Y., Baas, M., Kolski, C., & Poirier, F. (2011a). Étude comparative entre un clavier virtuel AZERTY et un clavier multitap pour des utilisateurs souffrant d'une Infirmité Motrice Cérébrale de type tétraplégique athétosique. In *ASSISTH'2011, 2ème Conférence Internationale Sur l'Accessibilité et les Systèmes de Suppléance aux personnes en situations de Handicap* (17-19 janvier), Paris, pp. 148-155.
- Guerrier, Y., Baas, M., Kolski, C., & Poirier, F. (2011b). Comparative study between AZERTY-type and K-Hermes virtual keyboards dedicated to users with cerebral palsy. In *Proceedings of Universal Access in Human-Computer Interaction, Users Diversity*, pp. 310-319, Springer Berlin Heidelberg.
- Guerrier, Y., Kolski, C., & Poirier, F. (2012a). Vers une aide logicielle à la communication pour des utilisateurs de profil Infirmes Moteurs Cérébraux (IMC) de type athétosique. *Poster, MajecSTIC, 9eme Manifestation des Jeunes Chercheurs en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication* (29-31 octobre), Lille, France.
- Guerrier, Y., Kolski, C., & Poirier, F. (2012b). Comment communiquer lorsqu'on est un utilisateur infirme moteur cérébral (IMC) de type athétosique ? Etude de cas des différents moyens de communication. In R. Mollard, F. Poirier, F. Vanderhaegen (Eds.), *Proceedings of the ERGO-IHM Conference (17-19 october)*, ACM, Digital Library, Biarritz, pp. 51-54.
- Guerrier, Y., Kolski, C., & Poirier, F. (2013a). Proposition of a communication system used in mobility by users with physical disabilities, focus on cerebral palsy with athetoid problems. In *Proc. ICALT, International Conference on Advanced Logistics and Transport (29-31 May)*, IEEE, Sousse, Tunisia, pp. 269-274.
- Guerrier, Y., Kolski, C., & Poirier, F. (2013b). Towards a communication system for people with athetoid cerebral palsy. In P. Kotzé, G. Marsden, G. Lindgaard, J. Wesson, M. Winckler (Eds.), *Human-Computer Interaction - INTERACT 2013 - 14th IFIP TC 13 International Conference*, Cape Town, South Africa, September 2-6, 2013, Proceedings, Part IV, Springer, Lecture Notes in Computer Science, pp. 681-688.
- Guerrier, Y., Naveteur, J., Kolski, C., & Poirier, F. (2014). Communication System for Persons with Cerebral Palsy - In Situ Observation of Social Interaction Following Assisted Information Request. In K. Miesenberger, D.I. Fels, D. Archambault, P. Penáz, W.L. Zagler (Eds.), *Computers Helping People with Special Needs - 14th International Conference, ICCHP 2014, Paris, France, July 9-11, 2014, Proceedings, Part I*, Springer, Lecture Notes in Computer Science, pp. 419-426.

- Harbusch, K., Hasan, S., Hoffmann, H., Kühn, M., & Schüler, B. (2003). B. Domain-specific Disambiguation for Typing with Ambiguous Keyboards. In *Proc. EACL 2003 Workshop on Language Modeling for Text Entry Methods*, Budapest, April.
- Hilliges, O., & Kirk, D. S. (2009). Getting sidetracked: display design and occasioning photo-talk with the photohelix. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1733-1736, ACM.
- Hinton, G., Deng, L., & Yu, D., *et al.* (2012). Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 29, no 6, pp. 82-97.
- Hubbell, T. J., Langan, D. D., & Hain, T. F. (2006). A voice-activated syntax-directed editor for manually disabled programmers. In *Proc. ASSET'06, 8th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, pp. 205-212, ACM.
- Hunnicut, S. (1985). *A lexical prediction for a text-to-speech system*. Dept Report of speech communication Stockholm STL-QSPR 2- 1/1985.
- Isokoski, P. (1999). *A Minimal Device-Independent Text Input Method*. Disponible à : [www.cs.uta.fi/~poika/g/g.html](http://www.cs.uta.fi/~poika/g/g.html).
- Isokoski, P. (2004). Performance of menu-augmented soft keyboards. In *Proc. of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI Letters*, 6(1), pp. 423-430.
- Jacob, R.J.K. (1990). What you look at is what you get: eye movement-based interaction techniques. In *Proc. CHI '90*, ACM Press, pp. 11-18.
- Kolb, B., & Gibb, R. (2011). Brain Plasticity and Behaviour in the Developing Brain. *J Can Acad Child Adolesc Psychiatry*, 20(4), pp. 265-276.
- Królak, A., & Strumiłło, P. (2012). Eye-blink detection system for human-computer interaction. *Universal Access in the Information Society*, 11(4), pp. 409-419.
- Liptak, G.S., & Accardo, P.J. (2004). Health and social outcomes of children with cerebral palsy. *The Journal of Pediatrics*, 145(2 Suppl), S36-41.
- Lotte, F., Faller, J., Guger, C., Renard, Y., Pfurtscheller, G., Lécuyer, A., & Leeb, R. (2013). Combining BCI with virtual reality: towards new applications and improved BCI. In *Towards Practical Brain-Computer Interfaces*, pp. 197-220, Springer Berlin Heidelberg.
- MacKenzie, I.S., & Zhang, S.Z. (1999). The design and evaluation of a high performance soft keyboard. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '99*, New York, pp. 25-31.
- MacKenzie, I.S. (2002a). A Note on Calculating Text Entry Speed. Disponible à : <http://www.yorku.ca/mack/RN-TextEntrySpeed.html>.
- MacKenzie, I.S., & Soukoreff, R. W. (2002). Text entry for mobile computing: Models and methods, theory and practice. *Human-Computer Interaction*, 17, pp. 147-198.
- Magnien, L., Bouraoui, J. L., & Vigouroux, N. (2004). Mobile devices: soft keyboard text-entry enhanced by visual cues. In *Proceedings of the 1st French-speaking conference on Mobility and ubiquity computing*, pp. 158-165, ACM.
- Magnuson, T. (1995). Word Prediction as Linguistic Support for Individuals with Reading and Writing Difficulties. In *Proc. TIDE, The European context for assistive technology*, pp. 316-319 Paris, April.
- Martin, B., & Pecci, I. (2006). État de l'art des claviers physiques et logiciels pour la saisie de texte. *Revue d'Interaction Homme-Machine*, Vol 7 N°1, 147-205.
- Masui, T. (1999). POBox: An Efficient Text Input Method for Handheld and Ubiquitous Computers. In *Proceedings of the International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'99)*, September, pp. 289-300.
- Matias, E. (1994). *U.S. Patent No. 5,288,158*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Mattelart, A., & Emanuel, S. (1994). *L'invention de la communication*. Paris : la Découverte.

- Maurel, D., Fourche, B., Briffault, S (2000). *HandiAS : Aider la communication en facilitant la saisie rapide de textes*. In *Proc. IFRATH Handicap 2000*, pp. 87-92, Paris 15-16 Juin.
- Maurel, D., Rossi, N., & Thibault, R. (2001). Handias : un système multilingue pour l'aide à la communication de personnes handicapées. In *Atelier Thématique TALN 2001*, pp. 203-212, Tours, 2-5 Juillet.
- Menier, G., & Poirier, F. (2001). Système adaptatif de prédiction de texte. In *Atelier Thématique TALN 2001*, pp. 213-222, Tours, 2-5 Juillet.
- Méthel, G. (2005). Une brève histoire du clavier. *Entrelacs, Cinéma et audiovisuel*, 5, pp. 53-58.
- Neerdael, D. (2014). *Une puce dans la tête : Les interfaces cerveau-machine qui augmentent l'humain pour dépasser ses limites*. Editions fyp.
- Niemeijer D. (2005). In memoriam of Christian Bérard: Striving for effort reduction through on-screen keyboard word prediction. In *Proc. Assistive technology: from virtuality to reality, 8th European conference for the advancement of assistive technology in Europe (AAATE 2005)*, A. Pruski, H. Knops (Eds.), IOS Press, <http://www.irit.fr/aaate2005wk/>, Lille, France, 6-9 september.
- Norman, D. A., & Fisher, D. (1982). Why alphabetic keyboards are not easy to use: Keyboard layout doesn't much matter. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 24(5), pp. 509-519.
- Pavlovych, A., & Stuerzlinger, W. (2004). Model for non-expert Text Entry Speed on 12-Button Phone Keypads. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI04)*, ACM Press, New York, NY, USA, pp. 351-358.
- Peltier, B. (2007). Nouvelles technologies, aides techniques à la communication et ergothérapie. *La Lettre de médecine physique et de réadaptation*, 23(3), pp. 135-138.
- Plamondon, R., & Srihari, S.N. (2000). On-Line and Off-Line Handwriting Recognition: A Comprehensive Survey. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 22 (1), January, pp. 63-84.
- Poirier, F., & Schadle, I. (2005). Interfaces réduites pour l'entrée de texte. État de l'art et présentation du communicateur Sibylle pour l'aide à l'écriture de personnes handicapées. *Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM)*, 6(2), pp. 63-89.
- Poirier, F., & Schadle, I. (2004). État de l'art des méthodes de saisie de données sur dispositifs nomades. Typologie des approches. In *Actes de la Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, ACM Press, New York, NY, USA, pp. 133-140.
- Pouech, N., Boissière, P., Vella, F., & Vigouroux, N. (2009). Influence des modes de présentation et de sélection des listes de prédiction: Étude sur trois systèmes d'aide à la saisie de textes. In *5ème Journée d'Ergothérapie de Gaches (ARFEHGA)*, Garches, 29 janvier 2009, pp. 84-86.
- Qiang, T. O. N. G. (2006). Speech-based Cursor Control. *Modern Computer*, 8, pp. 026.
- Soukoreff, R.W., & Mackenzie, I.S. (2004). Recent developments in text entry error rate measurement. In *Proc. CHI'04: Extended abstracts of the 2004 conference of Human factor and computing systems*, pp. 1425-1428, ACM Press.
- Stephanidis, C. (2012). *The Universal Access Handbook*, CRC Press.
- Rapp, C.E., & Torres, M. (2000). The adult with cerebral Palsy. *Archives of Family Medicine*, 9, pp. 446-472.
- Raynal, M. (2006). Claviers GAG: claviers logiciels optimisés pour la saisie de texte au stylet. In *Proceedings of the 18th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pp. 3-10, ACM.
- Raynal, M., & Vigouroux, N. (2005a). Genetic Algorithm to Generate Optimized Soft Keyboard. In *Proc. CHI'05*, Portland (U.S.A), 2-7 avril 2005, pp. 1729-1732.
- Raynal, M., & Vigouroux, N. (2005b). KeyGlasses : Semi-transparent keys to optimize text input on virtual keyboard. In *Proc. AAATE'05*, Lille, 6-9 septembre 2005, pp.713-717.

- Raynal, M., Le Brouder, M., & Vinot, J. L. (2009). Le système KEYGLASS. In *Actes JEG 2009, 5ème journée d'Ergothérapie de Garches*, pp. 84-86, Janvier.
- Roeber, H., Bacus, J., & Tomasi, C. (2003). Typing in Thin Air, The Canesta Projection Keyboard – A New Method of Interaction with Electronic Devices. In *Proc. Int. Conf. for Human-Computer Interaction (CHI 2003)*, Ft. Lauderdale, Florida, USA, April 5-10, ACM Press, pp. 712-713.
- Schadle, I., Antoine, J.Y, Le Pevedic, B., & Poirier, P. (2002). SibyLettre, prédiction de lettres pour la communication augmentée. *Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM)*, 3(2), pp. 115-133.
- Suanpirintr, S., & Thubthong, N. (2007). The Effect of Pauses in Dysarthric Speech Recognition Study on Thai Cerebral Palsy Children. In *i-CREATE '07, Proceedings of the 1st international convention on Rehabilitation engineering & assistive technology: in conjunction with 1st Tan Tock Seng Hospital Neurorehabilitation Meeting*, pp. 148-152, ACM.
- Suanpirintr, S., Jacob, O., Brad, A., Aung, H., & LoPrest, F. (2004). Text Entry from Power Wheelchairs: EdgeWrite for Joysticks and Touchpads. In *Proc. ASSETS' 04*, October 18–20, 2004, Atlanta, Georgia, USA.
- Vaillant, P. (1997). *Interaction entre modalités sémiotiques : de l'icône à la langue*. Thèse de Doctorat, Université Paris XI Orsay, septembre.
- Vella, F., Vigouroux, N., & Truillet, P. (2005). SOKEYTO: a design and simulation environment of software keyboards. In *Proc. Assistive Technology - Assistive technology from virtuality to reality, AAATE'05*, Lille, France, pp. 723-727, 6-9 septembre.
- Vella, F. (2008). *Modèles psychophysiques d'atteintes de cibles pour les personnes souffrant de troubles neuromusculaires*. Thèse de doctorat en Informatique, Université de Toulouse III, décembre.
- Wandmacher, T., Béchet, N., Barhoumi, Z., Poirier, F., & Antoine, J. (2007). Système Sibylle d'aide à la communication pour personnes handicapées : modèle linguistique et interface utilisateur. In *Proc. TALN 2007*, Toulouse, 12-15 juin.
- Ward, D.J, Blackwell, A.F., & MacKay, D.J.C (2000). Dasher - a data entry interface using continuous gestures and language models. In *Proc. UIST 2000: The 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, November 5-8, 2000, San Diego, CA, ACM Press.
- Wedding, R. M. (2006). U.S. Patent No. 7,137,749. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Wobbrock, J. O., Myers, B. A., & Kembel, J. A. (2003). EdgeWrite: a stylus-based text entry method designed for high accuracy and stability of motion. In *Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 61-70, ACM.
- Wobbrock, J.O., Myers, B.A., Aung, H.H., & LoPresti, H.F. (2004). Text Entry from Power Wheelchairs: EdgeWrite for Joysticks and Touchpads. In *Proc. ASSETS' 04*, Atlanta, GA, USA, ACM Press, pp. 110-11.
- Wolpaw, J.R., Birbaumer, N., McFarland, D.J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T.M. (2002). *Brain-computer interfaces for communication and control*. *Clinical Neurophysiology*, 113, pp. 767–791.
- Zaitsev, O. (2010). Skeleton keys: the purpose and applications of keyloggers. *Network Security*, 10, pp. 12-17.
- Zhai, S., Hunter, M., & Smith, B.A. (2000). The Metropolis Keyboard - an exploration of quantitative techniques for virtual keyboard design. In *Proceedings of The 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, San Diego, California, pp.119-218.
- Zhai, S., Hunter, M., & Smith, B.A. (2002). Performance Optimization of Virtual Keyboards. *Human-Computer Interaction*, Vol. 17, No 2 & 3, pp. 229-269.

## Références webographiques

Site internet agefiph : <http://www.agefiph.fr/Actus-Publications/Fil-d-actu/9-6-millions-de-personnes-handicapees-selon-l-Insee>

Site internet algo : <http://www.algo.be/ergo/apprentissage.htm>

Site internet information handicap : <http://informations.handicap.fr/art-histoire-874-6026.php>

Site internet moteurline : <http://www.moteurline.apf.asso.fr/spip.php?rubrique39>

Site internet sante-medecine : <http://sante-medecine.commentcamarche.net/faq/8685-dysarthrie-definition>

site internet textware : <http://www.textware.com/fitalycomment/garykrakow.htm>

Site internet unapei : <http://www.unapei.org/article/quelques-exemples-de-handicap.html>

Site Internet université de rennes : [www.med.univrennes1.fr/sisrai/art/infirmite\\_motrice\\_cerebrale\\_p.\\_139-148.html](http://www.med.univrennes1.fr/sisrai/art/infirmite_motrice_cerebrale_p._139-148.html)

Site internet web-accessibilite : <http://www.webaccessibilite.fr/les-chiffres-du-handicap-en-France-2009-08-17.php#mot>