Université Paris 8 - Vincennes - Saint-Denis
U.F.R. Territoires, Environnements, Sociétés
Laboratoire THIM (Technologies, Handicaps, Interfaces et Multimodalités)
(EA 4004 – CHArt)
École doctorale Cognition, Langage, Interaction

Mention : Informatique

THÈSE

Mohammed ZBAKH

Apports du numérique dans les outils de communication des personnes handicapées

Développement d'un dictionnaire inversé :
Langue des Signes Française → Français

Directeur de thèse :
Jaime LOPEZ KRAHE

Rapporteurs :

Christian BERGER-VACHON, Professeur, Université Lyon 1
Alain PRUSKI, Professeur, Université de Lorraine

Examinateurs :

Dominique ARCHAMBAULT, Professeur, Université Paris 8
Christian CUXAC, Professeur, Université Paris 8
Cédric MOREAU, Maître de Conférences, INSHEA, Suresnes
Catherine PELACHAUD, Directrice de recherche, CNRS

CITATION

« La bonne action et la mauvaise ne sont pas pareilles.
Repousse (le mal) par ce qui est meilleur; et voilà que celui avec qui tu avais une animosité devient tel un ami chaleureux »

(Sourate Fussilat, 34)

REMERCIEMENTS :

Je tiens à remercier,

Le professeur Jaime LOPEZ KRAHE, depuis mon master en Technologies et Handicap, il m'a ouvert la porte qui m'a permis de découvrir le domaine du handicap sur tous ses aspects psychiques et physiques. Lors de ce travail de recherche il a mis à ma disposition tous les moyens pédagogiques et matériels en m'apportant son savoir, sa longue expérience et ses précieux conseils qui m'ont été d'une grande aide. Je le remercie de la confiance qu'il m'a accordée durant ces années pour effectuer ce travail. C'est grâce à lui que j'ai pu mener à bien mes travaux et que j'ai pu proposer et intégrer ces nouvelles solutions techniques pour faciliter la communication avec les personnes handicapées.

Le professeur Christian BERGER-VACHON, d'avoir accepté de juger mon travail, c'est un honneur de le compter dans ce jury.

Le professeur Alain PRUSKI, pour m'avoir fait l'honneur de rapporter cette thèse. C'est une grande fierté de l'avoir comme rapporteur de ma thèse.

Le professeur Dominique ARCHAMBAULT, de m'avoir encouragé à finaliser cette thèse. Son cours sur les interfaces Homme-Machine a construit la pierre angulaire dans la réalisation de mon travail. Je le remercie encore une fois d'avoir examiné ma thèse.

Madame Catherine PELACHAUD, directrice de recherche pour m'avoir accueilli au sein de son équipe durant mon travail sur les agents conversationnels virtuels. C'est avec grand intérêt que je retiendrai mon passage au sein de son laboratoire. Je la remercie d'avoir accepté d'être examinatrice de mes travaux de thèse

Le professeur Christian CUXAC, d'avoir accepté d'examiner ma thèse. Son livre « *La langue des signes française. Les voies de l'iconicité, Faits de Langues* » a constitué le pilier de ce travail. Je le remercie de ses précieux conseils lors de notre discussion dans son bureau sur les configurations de la main dans la langue des signes française.

Le maître de conférences Cédric MOREAU, d'avoir accepté de participer à mon jury.

Madame Annelies BRAFFORT, de m'avoir fait profiter de son expérience et de ses conseils.

Mes amis et mes collègues au sein du laboratoire **THIM** notamment Madame Zehira HADDAD qui m'a aidé et a participé à la réalisation de ce travail. Son soutien et la pertinence de ses conseils m'ont été d'une grande aide.

Ma famille surtout mes parents pour tous leurs efforts et leur sacrifice qui m'ont permis de réaliser ce travail et plus particulièrement mon épouse qui a tout fait pour m'offrir l'environnement adéquat pour mener à bien cette thèse.

Finalement je tiens à présenter mes condoléances à la famille et les proches de Monsieur **Patrice Dalle** pionnier du traitement automatique de la Langue des Signes Française, et qui m'a honoré de rapporter ma thèse avant que la mort nous surprenne par sa disparition.

RESUME

La communication est une activité fondamentale de l'Homme. Dans cette thèse nous nous sommes intéressés à quelques apports des techniques numériques pour compenser les difficultés de communication liées à un handicap. Dans une première partie nous avons exploré des solutions d'aide à la communication en cherchant à développer des nouvelles approches. Ensuite nous avons cherché à contribuer au développement d'un dictionnaire de la LSF vers la langue française.

Les dictionnaires lexicaux sont considérés comme des passerelles entre les langues. Au cours des dernières décennies, ils se sont rapidement adaptés aux nouvelles technologies. En effet, ils ont dépassé leur aspect classique de livres, pour conquérir le nouveau monde d'Internet. Ce développement leur a permis d'avoir plus d'accessibilité et plus de réactivité grâce à l'utilisation de différents systèmes d'indexation et de classification adéquats. Malgré la différence de structure entre la langue vocale et la langue des signes, cette dernière ne fait pas exception.

Dans ce travail, nous avons développé un système de recherche évolutif, capable de trouver la signification d'un signe de la langue des signes française à partir de quelques paramètres du signe lui-même. Toutefois, la structure visuo-gestuelle de la langue des signes pose des difficultés pratiques à la mise en œuvre informatique de cette langue. La particularité de sa grammaire, d'être pratiquée dans l'espace, nous a encouragée à travailler sur une approche pragmatique, qui facilite l'accès à son vocabulaire pour toute personne s'intéressant à la langue des signes française.

Dans nos expérimentations, nous avons mis en place une plate-forme web de recherche des signes, puis nous avons analysé les requêtes des utilisateurs connectés à cette plate-forme. Cette analyse avait pour but d'identifier les paramètres nécessaires au développement d'un système léger, capable de trouver facilement la signification d'un signe en langue française.

Mots clés : Langue des Signes Française - Classification automatique - Dissemblance - Dictionnaire inversé LSF - LPC - Communication personnes sourde

LISTE DES ABREVIATIONS

2D :	Deux Dimensions
3D :	Trois Dimensions
ACA :	Agent Conversationnel Animé
ASL :	American Sign Language
BAP :	Body Animation Paramter
CS :	Cued Speech
db :	Décibels
FAP :	Facial Animation Parameter
FDP :	Facial Definition Parameter
IHM :	Interface Homme Machine
LO :	Langue Orale
LPC :	Langage Parlé Complété
LS :	Langue des Signes Française
LSF :	Langue des Signes Française
LV :	Langue Vocale

TABLE DES MATIERES

CITATION 3
REMERCIEMENTS : 5
RESUME 7
INTRODUCTION 14
Chapitre 1 : Communication humaine 23
1.1. La communication est une interaction 23
1.2. La communication et la langue 25
1.3. Les obstacles de la communication 26
1.3.1. La communication et les troubles cognitifs 26
1.3.2. Communication et troubles auditifs 27
1.3.2.1. Langage Parlé Complété : 27
1.3.2.2. Implant cochléaire : 28
1.3.2.3. Langue des signes: 29
1.4. Conclusion 31
Chapitre 2 : Pictokids – Outils de communication pictographique avec sortie textuelle et vocale 33
2.1. Introduction 33
2.2. Pathologie cognitive 34
2.3. Le rôle de l'image 35
2.4. La communication pictographique 36
2.4.1. Cadre de travail 36
2.4.2. Choix des pictogrammes 36
2.4.3. Interfaces et classification des pictogrammes 37
2.4.3.1. Mode alphabétique : 37
2.4.3.2. Mode grammatical : 38
2.4.3.3. Mode thématique : 39
2.4.4. Apprentissage et adaptation 41
2.4.5. Traduction de la phrase pictographique 41
2.4.6. Algorithme de fonctionnement 42
2.4.6.1. Fonction de grammaire : 42
2.4.6.2. Fonction de temps : 42
2.4.6.3. Fonction de nombre : 43

2.4.6.4. Fonction de genre : 43
2.4.6.5. Fonction de conjugaison : 43
2.4.7. Traitement automatique du texte 44
2.4.8. Personnalisation de l'interface 44
2.5. Évaluation 45
2.6. Conclusion 46
Chapitre 3 : Tête parlante codeuse en LPC 47
3.1. Introduction 47
3.2. Tête parlante 49
3.3. Greta codeuse en LPC 51
3.4. Interprétation des résultats 53
3.4.1. Geste de LPC 53
3.4.2. Geste de LPC et mouvement des lèvres 56
3.5. Conclusion 57
Chapitre 4 : Problématique du dictionnaire inversé 61
4.1. Introduction 61
4.2. Problématique 61
4.3. Le rôle du paramètre : 62
4.4. Accès à la LSF 63
4.4.1. Les interprètes de la langue 63
4.4.2. Reconnaissance des gestes 63
4.4.3. Dictionnaires 64
4.4.3.1. Qu'est-ce qu'un dictionnaire ? 64
4.4.3.2. Dictionnaire de LSF : 65
4.5. Le site N3C 70
4.5.1. Fonctionnement de recherche 70
4.5.2. Analyse de fonctionnement 70
4.6. Vers un dictionnaire inversé LSF – Français 72
4.6.1. Configuration de la main 72
4.6.2. Emplacement dans l'espace 75
4.6.3. Mouvement de la main 77
4.6.4. Orientation de la main 78
4.6.5. Expression faciale 79

4.7. Conclusion....79
Chapitre 5 : Analyse de l'espace de représentation et modélisation des paramètres de la LSF....81
5.1. Introduction....81
5.2. Cadre conceptuel....82
5.3. Modélisation informatique....83
5.3.1. Configuration de la main....83
5.3.2. Emplacement dans l'espace....90
5.3.3. Expérimentation 1 : Validation des critères....95
5.3.3.1. Méthode et résultats :....96
5.3.3.2. Interprétation des résultats et discussion :....99
5.3.3.3. Mise à jour du système :....100
5.3.4. Mouvement de la main....103
5.3.5. Modélisation complète des signes....107
5.4. Recherche d'un signe....111
5.5. Conclusion....115
Chapitre 6 : Critères de classification....117
6.1. Introduction....117
6.2. Initialisation des critères de la LSF....117
6.2.1. Définitions....117
6.2.2. Cadre général des expérimentations....118
6.3. Expérimentations....118
6.3.1. Méthode générale....118
6.3.2. Expérimentation 2 : Le critère le plus discriminatif....122
6.3.2.1. L'influence de la configuration de la main sur les résultats....122
6.3.2.2. Hypothèses :....122
6.3.2.3. Méthode :....123
6.3.2.4. Résultats et interprétations :....127
6.3.2.5. Application d'autres méthodes de reconnaissance....139
6.3.2.6. Vers un modèle d'apprentissage de fonction de dissemblance :....142
6.3.3. Expérimentation 3 : Différence entre les participants pratiquants de la LSF et les participants non pratiquants de la LSF.....147
6.3.3.1. Problématique : y-a-t-il une influence majeure de la pratique de la LSF sur les résultats des recherches ?....147
6.3.3.2. Hypothèses :....147

6.3.3.3. Méthode et résultats : 147
6.4. Conclusion....150
Chapitre 7 : Apprentissage des signes et traitement des profils des utilisateurs....151
7.1. Introduction....151
7.2. Approche globale....151
7.3. Description de la méthode :....154
7.3.1. Phase d'apprentissage....156
7.3.1.1. L'apprentissage sur la totalité du tableau :....157
7.3.1.2. L'apprentissage sur la moitié de la base de données :....158
7.3.1.1. L'apprentissage croisé :....158
7.3.2. Phase de reconnaissance....159
7.4. Application pédagogique....159
7.5. Conclusion....161
Chapitre 8 : Enrichissement automatique du dictionnaire inversé....163
8.1. Introduction....163
8.2. Approche proposée....164
8.2.1. Moteur d'extraction :....165
8.2.2. Moteur de validation :....167
8.2.3. Moteur d'enrichissement :....171
8.3. Procédure expérimentale :....171
8.4. Conclusion....176
CONCLUSION ET PERSPECTIVES....177
LISTE DES FIGURES....181
LISTE DES TABLEAUX....184
LISTE DES ANNEXES....185
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES....186
REFERENCES INTERNET....193
Annexe A : Liste de vocabulaire utilisé et testé dans cette étude....195
Annexe B : Conception de la base de données du dictionnaire Inversé....197
Annexe C : Matrice de similarité des configurations de la main....198
Annexe D : Matrice de distance des emplacements de la main....199
Annexe E : Matrice des distances des mouvements de la main....200
Annexe F : Matrice de confusion des configurations....201

Annexe G : Résultat de réseau de neurones pour 8 signes (48,861%).....202
Annexe H : Résultat de l'arbre de décision.....203
Annexe I : Résultats des fonctions pondérées triés par le nombre total des signes 204
Annexe J : Résultats des observations de l'expérimentation 1. 205
Annexe K : Codages utilisés pour les signes du dictionnaire (464 codages / 500 signes).....206
Annexe L : Codages utilisés dans les expérimentations (2501 codages).....207
Annexe M : Tableau globale d'apprentissage.....212
Annexe N : Configurations de la main.....221

INTRODUCTION

Dès la préhistoire, et après la satisfaction de ses besoins basiques [Maslow 43], l'Homme a compris son besoin d'appartenir et d'échanger. C'est ce que nous appelons la communication. Ses moyens (communication) sont généralement liés aux deux fonctions de réception : la vision et l'audition et deux fonctions d'envoi : la parole et le geste. Cependant, lorsqu'une fonction n'est pas opérationnelle à cause d'un accident (handicap temporaire) ou depuis la naissance (handicap permanent) l'être humain développe des outils et des techniques pour assurer son contact et sa communication avec son environnement.

En utilisant la parole, la langue a été développée de plus en plus à travers le temps et l'espace pour répondre à l'évolution des besoins humains de la communication. Le développement de la langue a toujours été contrôlé par des règles et des bases structurelles qu'on appelle la grammaire. Le même processus a été établi chez les personnes sourdes. Ces dernières ont surmonté leurs difficultés de communiquer en inventant un autre outil d'envoi de messages basé sur le gestuel. Ce qui a donné naissance à une langue appelée langue des signes.

La communication humaine est une communication multimodale, qui s'appuie sur l'échange des signaux linguistiques verbaux et non-verbaux. Les différents gestes comme le mouvement du corps, les expressions faciales, les grimaces…etc, ajoutent aussi une autre dimension au discours établi entre les interlocuteurs. Cette perception gestuelle fournit des informations complémentaires et parfois élémentaires afin de mieux décrire l'état émotionnel du locuteur. Ce qui peut avoir une grande importance dans la compréhension du dialogue.

Dans la première partie de ce travail nous allons définir la communication humaine et les outils techniques capables d'atténuer les obstacles causés par le manque de cette communication. Nous avons développé deux solutions techniques : un logictiel d'aide à la communication pour des personnes dysphasiques et un module de codage pour le langage parlé complété des personnes pratiquantes la lecture labiale.

Au sens propre, la langue est l'outil primordial de la communication entre les individus. C'est un code linguistique qui permet d'assurer un niveau d'échange entre l'émetteur et le récepteur et vice-versa, en s'appuyant sur diverses modalités (parole, écriture ou geste). Dans la même veine, la langue des signes est une langue comme toutes autres langues, comme l'ont

démontré les premiers travaux de Stokoe à partir de la langue des signes américaine (ASL) en 1960 [Stokoe 1960]. Elle peut aussi être traduite facilement par un interprète.

Contrairement à la langue vocale où nous utilisons la parole (mots), dans la langue des signes, nous n'utilisons que des gestes (signes). La question qu'on se pose généralement pour étudier cette langue, est : ***comment se fait le passage du geste vers le signe ?*** Dans la vie quotidienne, nous affrontons certains exemples des gestes que nous pouvons interpréter correctement.

Historiquement, en France, l'abbé de l'Épée croyait que la langue des signes est une langue universelle lorsqu'il écrivait : « *On a souvent désiré une langue universelle, avec le secours de laquelle les hommes de toutes les nations pourraient s'entendre les uns les autres. Il me semble qu'il y a longtemps qu'elle existe, et qu'elle est entendue partout. Cela n'est pas étonnant : c'est une langue naturelle* » [Epée 76].

Jusque tout récemment, les langues des signes – même dans les ouvrages spécialisés en linguistique - ont été ignorées et marginalisées. A titre d'exemple, l'ouvrage d'Akmajian Demers & Harnish publié en 1984, consacre 512 pages pour la langue orale, 35 pages pour la communication animale mais seulement 5 pages sont consacrées aux études sur l'apprentissage des signes de la langue des signes américaine (ASL). La seule indication de l'ASL dans le livre est reléguée à la page 480, où il est fait mentionne que l'ASL est l'un des styles de gesticulation utilisé par des personnes (alors même que le terme « sourd » n'apparaît pas dans cette nomination). Par conséquent, la notion de geste reste ici une définition approximative et vague [Akmajan 84].

Les langues des signes sont utilisées essentiellement par les personnes sourdes. Pour cela, Nous ne pouvons pas considérer les personnes sourdes comme des handicapés. Le plus juste est de les envisager comme une communauté qui partage entre elles une langue et une culture semblable aux minorités ethniques et groupes culturels installés dans tous les pays.

Grâce au développement des technologies durant ces dernières années, les jeunes sourds ont de plus en plus un accès considérable à l'oralisation. Les moyens de communication (téléphone, internet, vidéoconférence) ont beaucoup évolué et l'intersection entre les deux communautés (entendante et sourde) est devenue beaucoup plus facile (le rôle des interprètes).

De nos jours, il est de plus en plus indispensable d'acquérir une biculture des deux mondes linguistiques (sourd et oral) puisqu'ils appartiennent à la même société [Bylon-Mignot 91]. De même qu'il est inévitable de rencontrer une personne sourde et d'échanger avec elle un savoir comme celui que nous échangeons avec un touriste qui parle une langue différente de la

nôtre. Avec le système actuel d'enseignement, les enfants sourds acquièrent un bilinguisme de type langue des signes – langue orale (dans sa forme écrite), qui leurs permet d'établir une communication précoce avec leur entourage.

D'autre part, la communauté sourde n'a pas cessé d'utiliser des techniques parfois pratiques pour communiquer avec les personnes entendantes. Parmi ces techniques, nous pouvons citer la lecture labiale qui permet de comprendre ce que dit une personne en lisant sur ses lèvres. Cette dernière est complétée par une autre technique, appelée le LPC (Langage Parlé Complété) [Cornet 67]. Il s'agit d'un codage qui permet de lever l'ambiguïté existant entre plusieurs phonèmes correspondant au même mouvement des lèvres.

La langue des signes est une langue basée sur le canal visuel-gestuel et non audio-phonatoire comme les langues orales [Cuxac 00]. Pendant une langue période, la langue des signes était appelée : «la *communication par gestes* » ou « langage gestuelle des sourds et des muets ».

Actuellement, nous utilisons le terme « *la Langue des Signes* » pour désigner le grand nombre des langues utilisées ou pratiquées par la communauté des personnes sourdes. Ce sont des langues naturelles et non artificielles, et elles ne sont pas liées aux langues parlées autour d'elles. Ces langues sont acquises comme une langue maternelle pour les sourds. Il n'existe pas une langue des signes pour tous les sourds du monde. En revanche, les langues des signes sont très diverses selon les sociétés des sourds dans le monde. Cette diversité est surtout liée au vocabulaire utilisé tandis que les grands procédés syntaxique restent les mêmes, ce qui permet aux sourds dans le monde entier de se comprendre. Par exemple, la langue des signes pratiquée en France est la Langue des Signes Française (LSF), elle ne peut être interprétée par un pratiquant de la Langue des Signes Américaine (ASL). Parmi les pratiquants de la langue des signes dans le monde, il y a des personnes entendantes qui l'utilisent pour des raisons sociales et culturelles.

Tout comme la langue vocale, la langue des signes a aussi un vocabulaire et une grammaire. Elle a également la spécificité d'être pratiquée dans l'espace. Cette spécificité pose certaines difficultés pour la mise en œuvre informatique de cette langue. C'est seulement après que les ordinateurs ont acquis une puissance considérable de traitement de l'information, que la modélisation informatique de cette langue est devenue réalisable. C'est à partir de là, que nous avons commencé à parler de l'exploitation du geste dans la communication Homme-Machine.

Cette modélisation a pris divers aspects dans le domaine de la recherche, tels que le traitement automatique des vidéos des LS [Lefebvre-Albaret 09], la reconnaissance des gestes

des LS [Braffort 96], l'aide à l'acquisition et l'apprentissage de la LS [Sallandre 10], et même la catégorisation et la classification des LS [Aznar 08].

Les langues des signes sont considérées comme une classe des langues mondiales, qui s'expriment par des gestes manuels et non manuels. Les gens qui traduisent une langue orale vers une langue des signes sont appelés « interprètes ». Tous les interprètes des langues des signes se présentent tout simplement comme des traducteurs entre deux langues, de la même façon que les traducteurs des langues orales. Du point de vue logique, cette nomination est correcte, car le but de la traduction est de transmettre le message porté par la langue originale vers des concepts compréhensibles pour la langue ciblée.

Notre étude porte sur un dictionnaire de la Langue des Signes Française – Français qui se présente comme un moteur de recherche des signes basé sur la description gestuelle de la LSF.

Dans la deuxième partie de ce travail nous nous sommes fixés deux objectifs :

- La modélisation du vocabulaire de la langue des signes française exploitable d'une manière ergonomique : En se basant sur quelques paramètres de la LSF, nous avons conçu un protocole simple, indépendant des règles strictes de la description d'un signe.
- L'installation d'un protocole de classification automatique des signes de la LSF en s'inspirant des algorithmes d'apprentissage. Nous cherchons à savoir si cela va nous permettre d'accéder au signe et d'améliorer notre système de reconnaissance logique sur l'ensemble du vocabulaire. Le but recherché est de développer une plate-forme capable d'emmener l'utilisateur vers l'obtention d'un résultat efficace.

Étant donné l'absence d'une forme écrite institutionnalisée de la langue des signes, nous nous retrouvons face à la difficulté d'analyser cette langue. Aussi nous devons respecter les contraintes ergonomiques des interfaces homme-machine. Pour cela, l'objectif principal de cette recherche est de trouver un compromis entre la modélisation des signes et la cohérence des résultats obtenus. Durant cette recherche, nous avons travaillé sur un ensemble de paramètres de la LSF, qui peuvent présenter un espace de représentation satisfaisant pour la recherche d'un signe, bien que nous sommes conscients que notre espace de représentation ne sera pas complet. Rappelons que nous ciblons deux publics différents :

- Les **personnes entendantes** en phase d'apprentissage qui ont besoin de se familiariser avec le lexique de la LSF;

- Les **personnes sourdes**, dont la LSF est la langue maternelle et qui cherchent à connaître la traduction en langue française d'un signe donné;

Notre hypothèse générale est que la recherche de la signification d'un signe dans un vocabulaire peut se faire à partir des paramètres de ce signe, reformulés par une personne qui n'est pas très familière à la LSF, mais qui connaît plus ou moins la représentation gestuelle dans l'espace de ce signe. Cette procédure est basée sur des études de similarité et de classification automatique.

La première partie de cette thèse aborde les recherches préparatoires effectuées au lancement de ce travail. L'objectif de cette première partie est de collecter les informations nécessaires pour la mise en place de notre système de recherche des signes de la LSF (Accessibilité, Interface Homme-Machine, Modélisation des gestes dans l'espace…). Durant cette période nous avons exploré un ensemble des solutions et des travaux qui traitent le sujet de communication sur plusieurs aspects (cognitif et auditif). Cette partie a eu pour objectif d'acquérir des données fondamentales permettant d'approfondir les connaissances sur les systèmes de conception des aides techniques tout en continuant le travail sur mes projets de master dans un contexte scientifique. Elle contient trois chapitres :

Le premier chapitre est un chapitre introductif dans lequel nous présentons le rôle de la communication dans les échanges humains, ainsi que les obstacles qui peuvent bloquer ou gêner celle-ci. Nous présentons aussi les différentes solutions techniques et outils développés par l'être humain pour pallier aux différents types de troubles auditifs.

Le deuxième chapitre est consacré au premier travail que nous avons réalisé pour résoudre un problème de communication chez les enfants dysphasiques. C'est un logiciel de communication par le bais de pictogrammes. Dans la première partie, nous présentons le rôle de l'icône dans une communication visuelle. Ensuite, nous parlons de la procédure du choix des pictogrammes qui couvrent le monde d'un enfant dysphasique. Dans la deuxième partie, nous faisons une étude détaillée sur les algorithmes utilisés dans ce logiciel pour une traduction pictographique-textuelle, en respectant certaines règles de la grammaire française. Durant ce travail, nous avons étudié aussi l'impact des interfaces sur l'interaction homme-machine.

Dans le troisième chapitre, nous présentons un travail concernant l'intégration d'un module du Langage Parlé Complété (LPC) dans un avatar 3D. Ici, nous allons aborder la modélisation de la gestualité dans une communication semi-humaine (communication homme-machine). Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons les deux parties essentielles de ce travail : le codage LPC et l'agent conversationnel animé (nommé Greta). Dans la deuxième

partie, nous présentons les procédures d'intégration du codage LPC dans Greta, ainsi que les résultats obtenus et les interprétations effectuées.

Dans la deuxième partie de cette thèse, nous nous concentrons sur le travail réalisé sur le dictionnaire inversé de la LSF que nous avons mis en place via une plate-forme web accessible à tous. Nous présentons également la méthodologie suivie lors de cette réalisation.

Cette partie est divisée en trois chapitres :

Le quatrième chapitre introduit la problématique concernant la recherche des dictionnaires de la LSF. Nous présentons également les différents types de solutions étudiées et proposées après avoir définit le cadre théorique de notre travail.

Le cinquième chapitreporte sur la modélisation des signes. Cette modélisation s'est faite en choisissant des paramètres que nous avons jugés comme suffisants pour l'obtention des résultats fiables sans alourdir notre système. Nous présentons les étapes de cette modélisation en illustrant cela par des interfaces graphiques de notre plate-forme web.

Dans le sixième chapitre nous exposerons l'ensemble des expérimentations sur lesquelles l'ensemble de cette étude a débouché. Nous avons mené trois séries d'expérimentations : la première est une étude réalisée dans le but de définir le nombre de paramètres nécessaires pour avoir des résultats fiables dans la recherche des signes. La deuxième concerne l'influence de chaque paramètre sur la détection des bons signes. Et la dernière expérimentation aborde la question sur le profil des participants et l'influence des connaissances de la LSF sur les résultats finaux. Nous pouvons apporter une nouvelle approche pédagogique puisque nous avons mis en place un système d'apprentissage à partir des erreurs des consultations.

Le septième chapitre présente notre protocole d'apprentissage basé sur les profols des utilisateurs. Nous avons mis en place un observateur capable de détecter les erreurs courantes que les utilisateurs puissent commettre lors de leur recherche d'un signe donné.

Ainsi que le dernier chapitre propose une méthode d'enrichissement des signes basée sur le codage des utilisateurs eux-mêmes. Cette méthode cible des profils des utilisateurs ayant un niveau de codage et un taux de réussite très élevés. Ensuite le signe sera ajouter à la base de données afin qu'il intègre la procédure d'apprentissage par la suite.

PREMIERE PARTIE

La communication et la surdité :

Obstacles et solutions

Chapitre 1 : **COMMUNICATION HUMAINE**

La communication est une notion vague et floue. Elle est tellement large au point qu'il est difficile de définir ses limites. Elle est aussi multidimensionnelle et multi-facette et présente dans tous les aspects de la vie entre tous les êtres ; de l'animal et l'artificiel vers l'humain. Cependant les deux premiers types de communications (animales et artificielles) n'ont pas le même degré de richesse, de densité et d'efficacité que la communication humaine.

1.1. La communication est une interaction

La communication est une forme d'échange qui implique la notion d'interaction. Cette dernière demande au moins deux acteurs. Et il n'y a pas une activité communicative sans avoir deux communicants qui échangent les rôles de l'émission et de la réception, tout en sachant que la communication demande la participation des différentes parties dans le jeu d'échange oral et gestuel.

L'interaction de la communication, provoque un phénomène de boucle qui se traduit par des actions réciproques. En effet, chaque comportement du destinateur (émetteur, parleur) va déclencher la réaction de la destinataire (récepteur, écouteur) qui va à son tour prendre le rôle de destinateur.

Généralement, nous pouvons définir la communication comme une opération d'échange d'informations, d'idées, d'opinions, de sentiments et d'orientations entre les individus ou les groupes, soit au sein de la société elle-même, soit à l'extérieur. C'est une réaction de deux personnes ou plus, qui commence par l'envoi d'un message par un émetteur vers un récepteur en utilisant un moyen de transfert. Cela montre que la communication est une activité basée sur l'interactivité entre les acteurs (émetteur/récepteur).

La plupart des individus pratiquent la communication souvent d'une manière inconsciente et sans comprendre son mécanisme de fonctionnement. C'est après l'échec, que la question se pose sur les difficultés de la communication et les facteurs de son aboutissement [*Sperber 00*].

Dans sa théorie de la communication, Claude Shannon propose un modèle schématique linaire du système de communication [*Shannon-Weaver 49*]. Ce dernier est basé sur cinq éléments fondamentaux : transporteur, récepteur, canal, message et code.

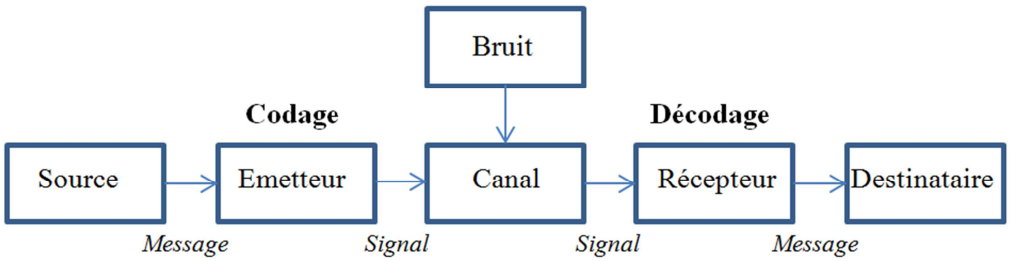


Figure 1.1 : *Schéma du modèle mathématique du Shannon-Weaver*

1) La source d'information énonce un message…
2) … que l'émetteur va décoder et transformer en signal
3) lequel va être acheminé par le canal,
4) puis décodé par le récepteur, qui reconstitue un message à partir du signal
5) et le transmet enfin au destinataire

Ce processus peut avoir deux aspects : la communication verbale qui utilise la parole (le son), et la communication non-verbale qui s'appuie sur le geste (l'image). Selon les travaux de Gregory Bateson, toute communication présente deux aspects : le contenu (digital) et la relation (analogique) [*Bateson 00*]. Les deux modes cohabitent en permanence dans nos communications et parfois, ils peuvent se contredire. Chaque geste corporel produit lors d'une séquence interactive peut avoir des informations intuitives et signifiantes.

D'après Allan Pease [*Pease 84*], les premières études sur la communication non-verbale datent de la fin des années soixante. Le livre de Julius Fast « Body Language » publié en 1970 est considéré comme le pionnier dans le domaine. Ce dernier porte sur la communication gestuelle basée sur des parties du corps ou tout le corps, pour exprimer un état de soi.

On a pu montrer le rôle important de la communication non verbale dans nos contacts et nos relations avec les autres [*Burgoon 96*]. Chaque message est un mélange des communications verbales et non verbales. En revanche, l'influence de ces dernières est plus forte, car elles sont libres et spontanées, en particulier lorsque quelqu'un veut montrer certains sentiments spécifiques (la joie, les nerfs…). Ce type de communication devient plus efficace dans le cas où la communication verbale est difficile ou impossible (Dans un concert, un sous-marin ou pour un agent de piste dans les aéroports...).

Il est très important dans les relations humaines d'analyser le retour de l'information, car, c'est la seule chose qui nous informe sur ce qui se passe au niveau du récepteur. La notion de feed-back nous renseigne sur le passage du message et son impact sur le sujet concerné. La perception du récepteur permet d'avoir la possibilité de réajuster le message ou d'en modifier certains éléments. Dans le cas où il y a l'absence de feed-back, la communication devient juste une information. Charles Cooley indique que « la communication est un mécanisme par lequel les relations humaines existent et se développent. Elle inclut les symboles et les moyens de les transmettre à travers l'espace et de les maintenir dans le temps » [Cooley 98].

Il existe un ensemble de facteurs qui permettent d'influer sur l'efficacité de la communication en général, et la communication non-verbale en particulier, tels que :

- Le non aboutissement du message
- Le non éclaircissement du message (message incomplet ou faux)
- La non acceptation du message, soit complètement ou partiellement.

A la base de ces facteurs nous pouvons distinguer des obstacles liés à l'émetteur, des obstacles liés au récepteur et des obstacles liés au message lui-même.

La surdité reste l'obstacle majeur de la communication verbale, ce qui favorise la recherche d'une alternative fonctionnelle comme la communication non-verbale. Généralement, les personnes qui sont atteintes d'une déficience auditive se répartissant ainsi :

- Personnes atteintes de déficience auditive profonde (perte supérieure à 90 db)
- Personnes atteintes de déficience auditive sévère (perte comprise entre 70 et 90 db)
- Personnes atteintes de déficience auditive moyenne (perte comprise entre 40 et 70 db)
- Personnes atteintes de déficience auditive légère (perte comprise entre 20 et 40 db)

Notons aussi d'autres types de troubles de communication notamment Aphasie, Dysphasie, Dyslexie et Dysarthrie. Cependant, ces troubles sont principalement des troubles neuropsychologiques associés à des déficiences motrices.

1.2. La communication et la langue

« On ne peut pas ne pas communiquer » [*Watzlawick 07*]. Il est difficile de vivre en dehors de l'environnement auquel nous appartenons sans interagir avec les autres.

De ce fait, il est inévitable d'utiliser la langue comme un outil de communication et un moyen de transmission des connaissances et des expériences. Bien que la langue soit unique sur le principe et sur la fonctionnalité, elle est très variée de point du vue aspect et caractère. Cette variation est due à la sémiologie linguistique.

Il est clair que la relation entre les phénomènes linguistiques et les phénomènes sociaux existait depuis l'apparition de la langue et la vie sociale. En revanche, l'étude de cette liaison est très récente du point de vue qualitatif et méthodologique. C'est au 19ème siècle que les scientifiques ont créé une branche de science de langage nommée « Sociolinguistique » qui permet d'analyser le développement de la langue dans un environnement bien défini.

1.3. Les obstacles de la communication

1.3.1. La communication et les troubles cognitifs

Dans un premier travail nous avons développé, dans le cadre d'un projet de master, un outil de communication pour des enfants atteints d'un handicap associé à la communication [Zbakh 09]. La dyslexie est un trouble lié à l'apprentissage et à l'identification des mots écrits. Elle entraîne des difficultés pour la reconnaissance des mots. C'est un trouble durable et spécifique affectant des enfants atteints d'un désordre neurologique.

L'outil réalisé est un logiciel d'aide à la communication bidirectionnelle par le biais de pictogrammes. Il s'adresse aux personnes présentant un handicap de communication, ainsi qu'à leur entourage [*Zbakh 10.a*]. Nous nous sommes d'abord basés sur les travaux de Maryvonne Abraham sur la communication pictographique [*Abraham 95*] [*Abraham 08*]. Nous avons remarqué la force de l'image du point de vue communicationnel par rapport au texte. Plusieurs aspects public dévoilent l'intervention de l'image (ou de l'icône) dans la vie quotidienne des individus. Il y a les panneaux de signalisation routière, les panneaux publicitaires, les plans et les cartes, etc... La question est pourquoi ?

L'objectif principal d'une icône est de transmettre un maximum d'informations dans un temps réduit. D'après [*Buyssens 43*] « La signalisation routière est destinée avant tout aux automobilistes, c'est à dire à des gens qui passent vite; il faut donc que les sèmes (les messages) puissent être interprétés rapidement ». Il est clair que l'icône a une référence universelle par rapport au mot, car ce dernier est toujours limité par des frontières culturelles et parfois géographiques alors que l'icône fait appel à l'intelligence à condition qu'il y ait une phase de

connaissance et d'apprentissage. Dans la communication, nous parlons du pictogramme. Il s'agit d'une icône porteuse de l'information jouant un rôle signalétique.

Notre problématique était de réaliser un outil de communication simple, efficace et personnalisable. Ce qui nous a poussés à travailler sur la présentation des pictogrammes du point de vue enfantin. Les pictogrammes doivent recouvrir la vie quotidienne d'un enfant. Pour cela nous avons choisi des pictogrammes simples comme ceux d'Axelia [*http://www.axelia.com/*]. Nous en avons aussi développé et modifié d'autres pour les rendre plus accessibles. Rappelons que l'enfant devrait pouvoir rédiger des phrases constituées de pictogrammes, avec une grammaire plus ou moins correcte. Alors, pour surmonter cet obstacle, nous avons proposé de mettre en place une classification thématique des pictogrammes. Nous avons conçus 20 thèmes de pictogrammes. Chaque thème contient soit des sous-thèmes soit des pictogrammes, aussi chaque sous-thème comporte quant à lui des pictogrammes correspondants.

L'enfant a la possibilité de rédiger des phrases pictographiques en utilisant l'interface hiérarchique du logiciel développé pour exprimer ou communiquer ses besoins. Cette phrase sera ensuite analysée par des algorithmes de grammaire intégrés dans le logiciel afin de formuler une sortie audio-textuelle qui respecte plus au moins les normes de la grammaire française.

Pour conclure cette partie, le logiciel développé nous a aidés à ressortir des points intéressants sur l'interactivité des interfaces homme-machine et surtout sur leurs aspects communicatifs pour une transmission de l'information plus claire et plus complète.

1.3.2. Communication et troubles auditifs

1.3.2.1. Langage Parlé Complété :

Nous avons vu dans la partie précédente comment l'icône favorise la communication pour une personne atteinte d'un trouble cognitif. Cependant, pour le cas d'un trouble auditif nous rajoutons un autre élément de communication : c'est le geste. Un geste communicatif est un mouvement d'un membre du corps humain où tout le corps désigne un message spécifique. En 1967 R. Cornett [*Cornet 67*] a inventé un codage gestuel pour compléter la lecture labiale effectuée par les personnes sourdes afin d'enlever des ambiguïtés de cette lecture. Certaines articulations des phonèmes ont la même image labiale, ce qui implique l'intervention d'un système efficace de distinction. Cette technique a été importée en France sous le nom Langage Parlé complété (LPC). Le LPC est un codage qui donne une perception visuelle précise de la parole : la main du locuteur, placée près du visage complète le mouvement des lèvres,

permettant ainsi de lever l'ambiguïté existant entre plusieurs phonèmes correspondant au même mouvement des lèvres. En Français, cinq positions de la main sont utilisées pour coder les voyelles et huit formes de main sont utilisées pour les consonnes (***fig.*** *1.2*). La combinaison d'une configuration et d'une position code une syllabe de type Consonne-Voyelle CV [*Attina 04*] [*Aboutabit 06*].

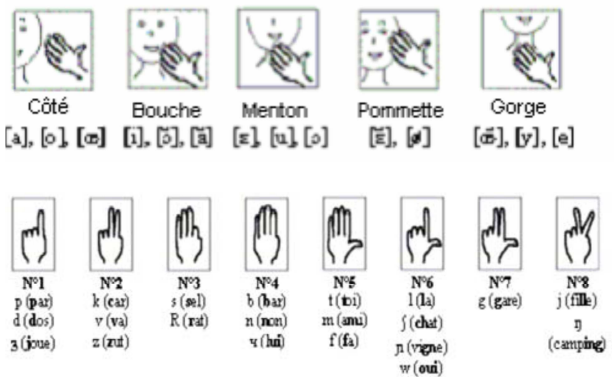


Figure 1.2 : *Liste des positions et des configurations manuelles du code LPC (issue de [Attina 04])*

Nous avons alors réalisé un travail qui consiste à intégrer un module du LPC dans un agent conversationnel animé nommé Greta [*Pelachaud 02*]. Il s'agit d'un projet de stage que nous avons complété en première année de thèse. Le chapitre 3 détaillera plus ma contribution dans ce projet et les tâches réalisées durant ce travail.

Ce système a pour rôle de reconnaître les phonèmes prononcés par le locuteur et son état émotionnel afin d'animer, sur un écran informatique, une tête parlante située devant la personne sourde ou malentendante.

1.3.2.2. Implant cochléaire :

Dans certains cas de difficultés de communication, comme les personnes qui ont perdu leur fonction auditive, nous faisons appel aux aides techniques matérielles. Il s'agit d'appareils d'aide à la réhabilitation de la fonction auditive dégradée à cause des distorsions d'intensité et de fréquence. Le rôle de l'implant cochléaire est soumis à des limitations techniques de l'audition normale, et les recherches travaillent sur l'amélioration des fonctions de l'appareil à savoir l'amplification sélective des sons de faible intensité et la limitation des sons fortement amplifiés [*Seldran 11*].

Ces appareils prennent différentes formes d'installation et de performance (***fig.*** 1.3). Il y a les contours d'oreille, les contours d'oreille dits 'ouverts ', les contours à «écouteur déporté et les intra-auriculaires [*Lina-Granade 10*].

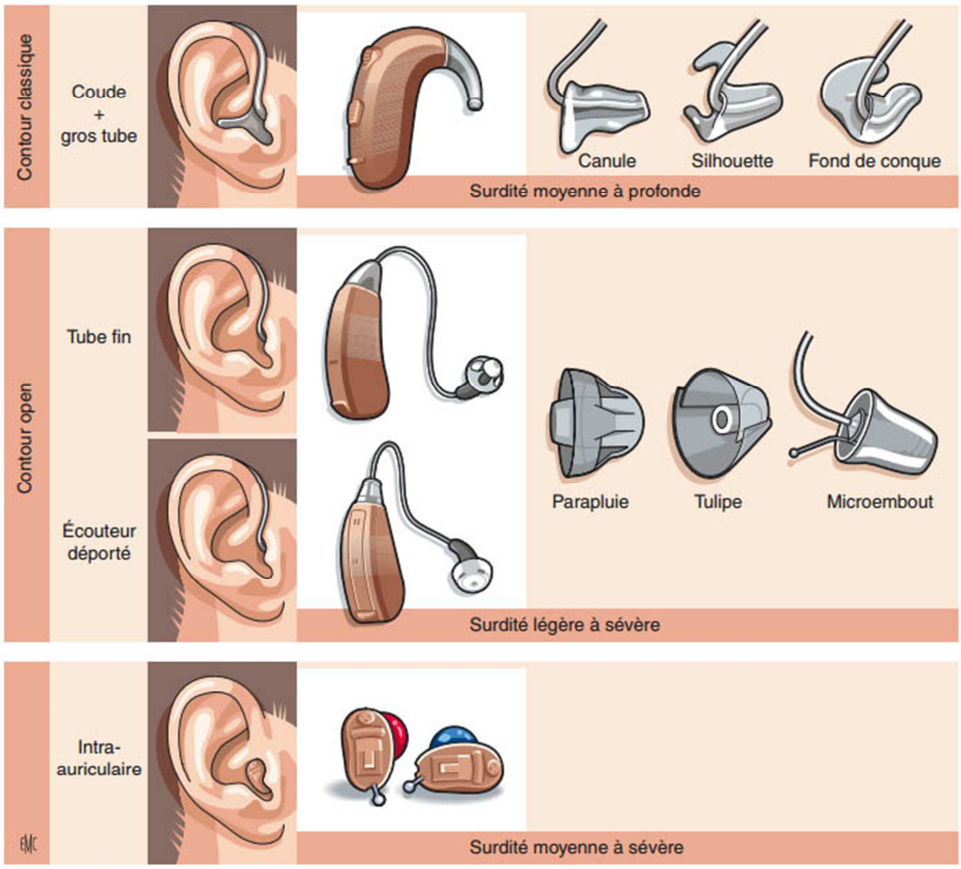


Figure 1.3 : *Différents types de prothèses auditives, d'embouts, et leurs indications [Lina-Granade 10]*

1.3.2.3. Langue des signes:

Les langues des signes sont apparues chez les communautés des sourds pour communiquer et échanger, donc Il ne faut pas considérer les personnes sourdes comme des gens handicapés de la communication. Il est plus juste de les considérer comme un groupe de sourds qui partage la même langue et la même culture, équivalent aux minorités ethniques et groupes culturels. Nous ne traitons pas dans cette recherche la langue des signes comme une technique de communication pratiquée au sein de la communauté sourde mais comme une langue qui présente une structure différente aux langues vocales ce qui demande une autre manière d'accès à son lexique.

En France, il est difficile d'obtenir les chiffres concernant la surdité : les chiffres disponibles ne sont que des estimations vu que la déficience auditive englobe plusieurs aspects (sourd, sourd-muet, malentendant).

De même, la Langue des Signes Française (LSF) est reconnue officiellement comme une langue à part entière depuis la loi du 11 février 2005. Elle a un vocabulaire riche et une grammaire différente de la langue orale. D'après C. Cuxac, la LSF est une langue basée sur le canal visuel-gestuel où le signeur choisit de « dire sans montrer » ou bien de « dire en montrant ».

Comme la plupart des langues des signes, la LSF s'appuie sur la communication gestuelle. La perception 'physique' de cette dernière demande une analyse spéciale de ses différents paramètres gestuels et de leurs fonctions.

La dactylologie et la lecture labiale sont parfois utilisées dans la Langue des Signes Française. Cette dernière utilise l'alphabet dactylologique pour épeler les mots n'existant pas dans son vocabulaire comme certains noms propres par exemple.

Les expressions faciales ont une place très importante dans la LSF notamment pour exprimer les sentiments, les objets et les actions sans ambiguïté. Sa grammaire (LSF) consiste à utiliser pertinemment l'espace pour indiquer les relations actancielles ainsi que les references spatiales et temporelles.

1.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu l'importance de la langue dans les échanges quotidiens entre les êtres humains, ainsi que l'influence du système auditif et l'absence du geste corporel sur le mécanisme de la communication.

En exploitant l'importance de l'icône et de l'image dans la transmission des messages, nous avons élaboré un support technique qui permet d'atténuer les déficiences de la communication.

Dans les chapitres suivants, nous présenterons en détail les travaux préliminaires à notre dictionnaire LSF. : Nous commencerons d'abord par présenter un outil d'aide à la communication pour les enfants dysphasiques basé sur des pictogrammes. Ensuite, nous exposerons notre travail sur l'automatisation du codage LPC dans un agent conversationnel animé.

Les résultats de ces travaux seront exploités par la suite dans notre recherche sur le dictionnaire inversé de la Langue des Signes Française.

Chapitre 2 : **PICTOKIDS – OUTILS DE COMMUNICATION PICTOGRAPHIQUE AVEC SORTIE TEXTUELLE ET VOCALE**

2.1. Introduction

Dans le cadre de notre projet de master, notre groupe[1] avait travaillé pour proposer une solution technique simple à la problématique de troubles cognitifs de la communication pour des enfants ayant des troubles d'expression orale. [Zbakh 09]. . Il s'agit d'un handicap de communication spécifique à l'apprentissage causé par un dysfonctionnement neurologique, la Dysphasie. Nous avions alors commencé des travaux sur un logiciel d'aide à la communication. Le temps imparti étant très limité, ce projet n'avait pas pu aboutir complétement.

L'objectif était de permettre aux enfants dysphasiques d'avoir un certain niveau d'autonomie communicative avec leur entourage (famille, école…). Chez les enfants dysphasiques, la perception auditive est soumise à des troubles qui se traduisent par des difficultés dans le traitement du signal sonore. Ils souffrent d'une incapacité de discriminer les mots dans une conversation rapide. Ils souffrent aussi des troubles d'abstraction qui causent une difficulté majeure pour accéder aux concepts abstraits. Cet objectif a été élargi et généralisé dans la version définitive que j'ai développée au cours de la thèse.

Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les travaux d'Abraham sur la communication pictographique [*Abraham 08*] pour développer un outil de communication simple et robuste. Après avoir présenté une première version du logiciel Pictokids, j'ai continué à travailler sur ce logiciel durant ma première année de thèse suite aux retours des internautes ainsi qu'aux remarques des spécialistes rencontrés au 3ème Challenge Handicap & Technologie à Metz [CHT 2009]. J'ai alors repris la version initiale du logiciel en y ajoutant d'autres fonctionnalités avec une conception plus générale.. Ces dernières concernent la possibilité d'enrichir la base de données des pictogrammes via une nouvelle interface dédiée aux aidants de l'enfant. Cette interface devait permettre d'importer des photos personnelles de l'enfant et

[1] AHANACHE Karima, DEVOS Nadège, LOPEZ FONTANA Iréné, ZBAKH Mohammed (Pictokids)

à son entourage pour mieux faciliter la communication de l'enfant. J'ai aussi travaillé sur la gestion des bugs et des erreurs d'utilisation en proposant des nouvelles mises à jour du logiciel.

2.2. Pathologie cognitive

Pour l'être humain, un mot est presque toujours associé à une image, ce qui favorise le phénomène de la communication et de la compréhension. La dysphasie est diagnostiquée à 5/6 ans sous la forme de signes d'alertes comme :

- Une absence des mots à 18 mois.
- Un vocabulaire très réduit et inférieur à 30 mots à l'âge de deux ans.
- Un manque de combinaison de mots à l'âge de trois ans.

En revanche, les enfants dysphasiques sont intelligents, entendants et motivés par la communication. Leurs obstacles touchent l'expression et parfois la compréhension, ce qui influe sur leur vie quotidienne. Ces difficultés prennent les aspects suivants :

- La production des sons et des mots
- La construction des phrases
- La description des activités journalières ou des histoires

Chez l'enfant dysphasique certains sons apparaissent plus tard. De plus, il peut lui être difficile d'entendre la différence qui existe entre des sons proches. Par exemple, les sons 'b', 'd' et 'p' peuvent facilement être confondus. L'articulation peut aussi poser des problèmes et les sons peuvent être déformés. Tous ces problèmes rendent souvent, le discours de l'enfant peu ou pas compréhensible.

Les mots : les premiers mots apparaissent plus tard et même après un certain âge, le vocabulaire de l'enfant reste pauvre. Il lui arrive parfois de ne pas trouver ses mots, comme il lui arrive souvent de rencontrer quelques difficultés à comprendre le sens de certains mots.

Les phrases : les phrases sont les plus souvent courtes et simples. Parfois certain mots sont oubliés. Les accords peuvent causer des problèmes. De même, les phrases complexes sont difficilement comprises.

Le discours : lorsque l'enfant raconte une histoire ou sa journée, il ne précise pas toujours quand et/ou se passe l'action. Par conséquent, il est fréquent d'avoir un enfant dysphasique qui mélange l'ordre de l'histoire.

Les échanges sociaux : l'enfant dysphasique rencontre également des problèmes de compétences pragmatiques comme le respect des règles de communication, le partage du même sujet de conversation et la prise en compte du point de vue de l'autre. L'enfant dysphasique n'attend pas toujours son tour pour parler, il coupe la parole de l'autre. En effet, maintenir le sujet de la conversation peut lui poser un problème. D'ailleurs, lorsqu'il est avec ses amis, ce n'est pas le premier à engager la discussion.

Notons que ces difficultés peuvent être la conséquence de troubles langagiers ou y être seulement associés.

A ces difficultés, s'ajoutent d'autres troubles dans le domaine non langagier. En effet, on peut observer des troubles de l'attention et de la concentration, des difficultés pour mémoriser, un manque d'habilités motrices. Par exemple, faire du vélo, écrire ou jouer au ballon peuvent être des taches difficiles à réaliser. L'enfant dysphasique a également du mal à percevoir l'intensité du temps et des émotions.

Pour conclure cette partie, chacun d'entre nous a une perception imaginaire d'un mot quelconque. Si nous prenons comme exemple le mot 'voiture', la perception (la couleur, la taille, la marque, le modèle….) peut être différente d'une personne à une autre. Mais cette variation n'influe pas sur notre qualité de communication. En revanche, les enfants dysphasiques ont du mal à faire cette liaison.

2.3. Le rôle de l'image

L'objectif principal d'une icône est de transmettre un maximum d'information dans un temps réduits. D'après Buyssens "La signalisation routière est destinée avant tout aux automobilistes, c'est à dire à des gens qui passent vite; il faut donc que les sèmes (les messages) puissant être interprétés rapidement" [Buyssens 43]. Et il est clair que l'icône a une référence universelle par rapport au mot, car ce dernier est toujours limité par des frontières culturelles et parfois géographiques, alors que l'icône fait appel à l'intelligence à condition qu'il y ait une phase de connaissance et d'apprentissage. Dans la communication, nous parlons du pictogramme. Il s'agit d'une icône porteuse de l'information et qui a un rôle signalétique.

2.4. La communication pictographique

2.4.1. Cadre de travail

Dans la première phase de ce travail nous avons partagé les tâches selon le profil de chacun d'entre nous, sachant que la conception des interfaces et le choix des pictogrammes ont été réalisés collectivement pendant les réunions de groupe. Les grandes tâches de ce logiciel comportent : la réalisation des pictogrammes[2], la conception et le saisi de la base de données[3], la modélisation des règles de grammaire et de conjugaison[4] et le développement des fonctions d'utilisation[5] [Zbakh 09].

2.4.2. Choix des pictogrammes

Notre logiciel n'est pas un outil d'apprentissage de la construction des phrases, ni de l'apprentissage de la lecture, bien que ces apprentissages peuvent se faire de manière indirecte lors d'une utilisation fréquente de l'outil. Mais l'objectif est bien de permettre aux utilisateurs de se faire comprendre, et d'interagir sans difficulté avec les personnes qui les entourent.

Pour cela nous avons choisi des pictogrammes simples et significatifs notamment ceux d'Axelia [*http://www.axelia.com/*]. Sachant aussi que nous en avons modifié et développé d'autres pour les rendre plus accessibles. le but est que l'enfant devrait pouvoir composer et rédiger des phrases pictographiques, avec une grammaire plus ou moins juste et correcte.

Sur les 1365 pictogrammes codés, notre logiciel présente une hiérarchie de 3 niveaux pour atteindre un pictogramme. Cette hiérarchie présente un premier niveau nommé "Thème" dont un thème portant le prénom de l'enfant. Ce dernier est totalement personnalisable (grâce aux aidants), et sert à collecter les pictogrammes les plus rattachés à l'entourage de l'enfant, ses habitudes et ses envies. Le deuxième niveau possède les sous-thèmes liés au thème sélectionné par l'enfant et dans certains cas, des pictogrammes en relation avec le thème directement. Le troisième niveau représente la totalité des pictogrammes du sous-thème choisi.

[2] N. Devos
[3] K. Ahanache, M. Zbakh
[4] I. Lopez Fontana, M. Zbakh
[5] M. Zbakh

Exemple : Schéma de niveaux de sélections d'un pictogramme du Pictokids

 *Premier niveau* **Thème** : Sport	 *Deuxième niveau* **Sous thème :** Sports de balles	 *Troisième niveau* **Pictogrammes**

2.4.3. Interfaces et classification des pictogrammes

Le logiciel Pictokids est un outil de communication pictographique s'adressant à une population âgée de 7 à 16 ans atteinte de troubles de la communication. Son utilisation se veut multimodale, c'est-à-dire, que l'utilisation de l'interface offre trois modes d'organisation des pictogrammes : thématique, alphabétique et grammaticale.

2.4.3.1. Mode alphabétique :

Ce mode de présentation est principalement conçu pour les aidants de l'enfant. Chaque lettre de l'alphabet renvoie à une liste de mots commençant par cette lettre. Dans cette interface j'ai programmé deux types de recherches :

- A partir d'une liste classée par ordre alphabétique, l'aidant sélectionne un mot, et le pictogramme correspondant s'affiche dans la barre de la phrase pictographique avec le mot attribué.
- Une saisie prédictive est également proposée pour une recherche plus rapide du mot.

L'aidant aura ainsi la possibilité d'accéder aux pictogrammes en passant directement par le français écrit afin de favoriser une communication bidirectionnelle. Il s'agit en fait de sélectionner un mot dans base de données par choix de la première lettre ou par frappe prédictive dans un espace dédié, ceci ferait appel au pictogramme souhaité en vue de constituer une phrase pictographique (***fig.*** 2.1). Dans le cas où il y a plusieurs pictogrammes représentants le même mot, l'utilisateur a la possibilité d'en choisir un dans un espace prévu à cet effet.

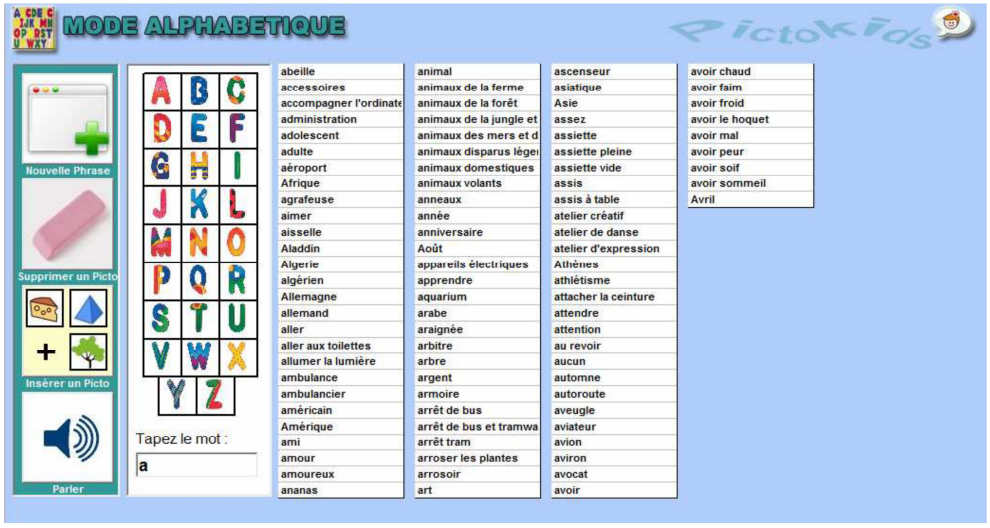


Figure 2.1 : *Interface du mode alphabétique du Pictokids*

Le mode alphabétique a été conçu pour une population sachant lire, car il nécessite une capacité de compréhension du texte écrit pour sélectionner le mot. Cette population peut être des adultes, autrement dit, le personnel médical, scolaire mais aussi les membres de la famille, ou bien des enfants ayant acquis la capacité de lire. Ce mode, a l'aspect plus sobre, peut donc être utilisé par les adultes souhaitant entrer en communication avec des enfants présentant des troubles de la compréhension du discours oral, c'est-à-dire des enfants qui ne comprendraient pas la demande énoncée oralement par l'adulte. Ce mode fonctionne comme un lexique de pictogramme.

2.4.3.2. Mode grammatical :

C'est un mode complémentaire au mode alphabétique. L'idée est de classer les pictogrammes selon leurs natures grammaticales. Il se compose de trois dossiers, à savoir, un dossier contenant les noms communs, un second pour les verbes, et un troisième pour les adjectifs. Actuellement, chaque dossier correspond à une couleur et contient des pictogrammes classés par ordre alphabétique. La distribution des pictogrammes dans les différents dossiers tient compte des mots qui peuvent avoir différentes natures. Ainsi, le mot « infirmier » peut être aussi bien un nom commun qu'un adjectif selon sa position dans une phrase, il sera alors disponible dans les deux dossiers (***fig.*** 2.2).



Figure 2.2 : *Interface du mode grammatical de Pictokids*

2.4.3.3. Mode thématique :

Rappelons que notre logiciel est un outil de communication destiné principalement aux enfants présentant des troubles de la parole et éventuellement de la lecture. Par conséquent, ce mode ne demande aucune connaissance de l'orthographe ou de la grammaire française. Les pictogrammes sont regroupés dans des répertoires thématiques qui englobent la vie quotidienne de l'enfant dysphasique. Chaque thème est divisé en plusieurs sous thèmes. Les sous thèmes contiennent des pictogrammes correspondants. Parfois un thème peut avoir directement des pictogrammes à côté des sous thèmes.

La conception de ce mode a pris en compte 3 critères d'utilisation : l'accessibilité, l'ergonomie et la logique.

Cette interface est accessible par l'organisation des thèmes qui recouvre la plupart des intérêts d'un enfant. Elle répond à ses besoins communicatifs, à savoir la nourriture, la toilette, les émotions…etc.

Le tableau suivant montre la liste de thèmes et des sous thèmes de notre logiciel. Dans un premier temps, les thèmes sont classés par ordre alphabétique, et après l'utilisation fréquente de l'outil, les thèmes se réorganisent en fonction de leurs occurrences d'utilisation.

Thème		Sous thème
1	Animaux et insectes	Animaux de la ferme - Animaux de la forêt - Animaux de la jungle et du désert - Animaux des mers et des glaces - Animaux domestiques - Animaux volants - Disparus ou légendaires - Insectes et arachnides.
2	Argent et chiffres	Argent - Chiffres
3	Corps, santé et hygiène	Corps humain – Santé - Hygiène
4	Direction et Position	
5	École	La classe - Leçons et activités - Matériel
6	Émotions, sensations et besoins	Besoins - Émotions et sensations
7	Fêtes	
8	Géographie	Continents – Nationalités – Pays - Régions de France - Villes
9	Formes et couleurs	Formes - Couleurs
10	Loisirs	Atelier créatif - Jardin d'enfant - Jeux de balle - Jeux et occupations – Multimédia - Musique
11	Maison	Appareils électriques – Chambre – Cuisine – Jardin - Objets, meubles et portes - Salle de bain et WC - Salon et salle à manger
12	Mode de vie, politesse et interdiction	
13	Nourriture et repas	Boissons – Charcuterie - Couverts, ustensiles et meubles – Desserts – Fromages – Fruits – Légumes - Petit déjeuner et goûter – Plats – Repas - Restaurant
14	Personnes et métiers	Métiers – Personnages - Personnes
15	Quantitatifs et qualitatifs	Qualitatifs - Quantitatifs
16	Religion	
17	Sports	Athlétisme – Compétitions - Courses automobiles et motocyclistes – Gymnastique - Jeux de balle - Sports de combat - Sports individuels - Sports nautiques
18	Temps	Climat – Heures – Jours – Mois - Saisons, année, vie
19	Transports	Sécurité - Trains et Tramway - Transports aériens - Transports nautiques - Véhicules à moteur – Vélos - Voies de circulation
20	Vacances	Mer – Montagne - Nature et campagne
21	Vêtements et accessoires	Accessoires - Chaussures et chaussons - Vêtements
22	Ville	Banque – Cinéma – Cirque – Coiffeur - Concert et discothèque – École - Faire les courses – Gymnase - La poste - Lieux religieux – Ludothèque – Mairie - Maison et appartement – Musée – Parc – Patinoire – Piscine – Prison - Restaurant et cafétéria – Santé – Transport - Zoo

Tableau 2.1 : *Liste des thèmes et des sous-thèmes présents dans le logiciel Pictokids*

L'interface est aussi ergonomique du point de vue utilisation, car l'enfant peut accéder à n'importe quel pictogramme en deux ou trois manipulations. Pour cela, l'enfant sélectionne le thème souhaité puis, il choisit soit le sous thème, soit le pictogramme appartenant directement au thème. Sinon, il peut cliquer sur le sous thème pour accéder au pictogramme recherché.

Enfin, l'interface est logique grâce à la conception dédiée aux enfants dysphasiques. En effet, les pictogrammes ont deux aspects : des pictogrammes dessinés qui comportent le maximum d'information sur les objets, les lieux,… et des pictogrammes réels consistant à représenter des personnes physiques comme les parents, les amis,…

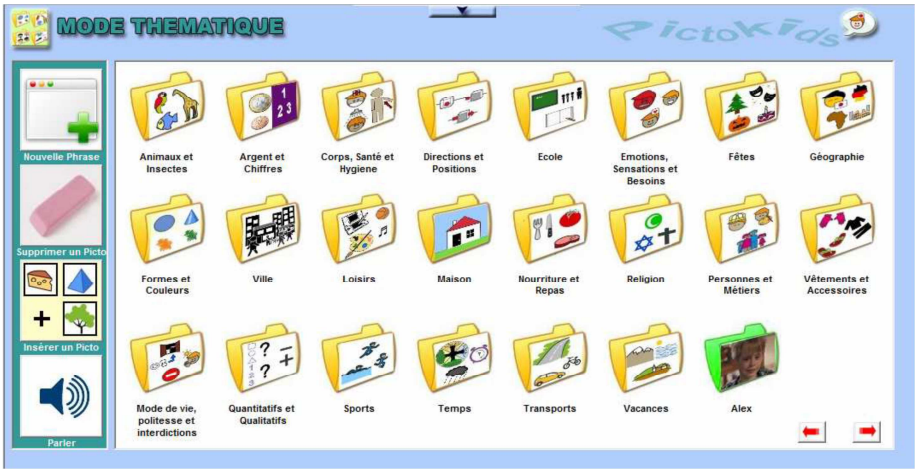


Figure 2.3 : *Interface du mode thématique du logiciel Pictokids*

2.4.4. Apprentissage et adaptation

Avant l'utilisation du logiciel Pictokids, L'enfant doit passer par une phase d'apprentissage et d'adaptation. Celle-ci est dirigée par les aidants de l'enfant dysphasique. Pictokids est équipé d'un mode d'apprentissage sous la forme de jeux éducatifs. Durant cette phase, l'enfant est censé :

- Explorer l'interface et se familiariser avec ses éléments et ses fonctionnalités.
- Découvrir les thèmes du logiciel Pictokids.
- Localiser les pictogrammes dans les thèmes et sous-thèmes correspondants

Les jeux sont conçus pour que l'enfant se développe progressivement à travers des niveaux de difficulté variés. Nous avons cinq niveaux qui commencent par la localisation d'un pictogramme à l'intérieur de six thèmes simples. Dès que l'enfant réussit le premier niveau, l'aidant peut lui présenter le niveau suivant pour étendre sa connaissance.

2.4.5. Traduction de la phrase pictographique

Pictokids intègre une traduction des pictogrammes en texte, en incluant les règles de grammaires et de conjugaison française. il propose également une lecture vocale de la phrase textuelle traduite. Nous avons travaillé sur des expressions simples et faciles pour le passage

des pictogrammes vers le texte. Notre logiciel est supporté par des algorithmes capables de rattraper et corriger les fautes et les erreurs commises par l'enfant dysphasique.



Figure 2.4 : *Structure de la phrase ciblée dans le logiciel Pictokids*

La base de données contient le vocabulaire nécessaire pour la communication des enfants dysphasiques. Les mots sont répertoriés selon leurs natures et catégories grammaticales (verbe, nom, pronom, adjectif…). Après chaque sélection de pictogramme, le logiciel traite l'élément en question en temps réel, à savoir, son rôle dans la phrase (Sujet, verbe complément d'objet…), l'accord avec les autres éléments de la phrase (nombre et genre) et le temps de l'action (passé, présent ou futur). Pour cela, le logiciel se base sur un ensemble de fonctions qui communiquent entre elle les différentes données saisies.

2.4.6. Algorithme de fonctionnement

2.4.6.1. Fonction de grammaire :

C'est la fonction d'aiguillage de notre système, elle analyse chaque élément et le transmet aux autres fonctions spécifiques de traitement. Pour cela, cette fonction analyse toutes les données relatives à l'élément (le mot) afin d'en assurer le bon acheminement. Elle vérifie la nature du mot et son rôle dans la phrase pictographique.

2.4.6.2. Fonction de temps :

Le but de cette fonction est de vérifier le temps de l'action sélectionné par l'enfant dysphasique. Nous avons limité le temps en trois : passé, présent et futur. Ces temps sont les plus utilisés et surtout les premiers acquis par des jeunes enfants. La figure 2.5 montre la partie de l'interface responsable du choix du temps.

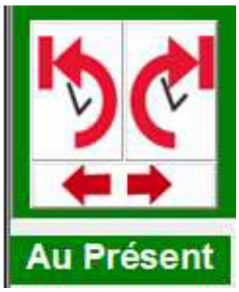


Figure 2.5 : *Système de conjugaison de la phrase textuelle en trois temps (Passé, Présent et Future)*

2.4.6.3. Fonction de nombre :

Le rôle principal de cette fonction est de valider le nombre du sujet (singulier ou pluriel) dans la phrase afin d'accorder le verbe correspondant.

2.4.6.4. Fonction de genre :

Cette fonction joue un rôle très important pour l'accord des adjectifs, elle prend aussi en considération le sexe de l'enfant pour éviter les erreurs de l'accord quand celui-ci parle de lui-même (lorsqu'il utilise le pronom « JE » ou « MOI »)

2.4.6.5. Fonction de conjugaison :

Étant donné que l'enfant dysphasique utilise essentiellement trois temps de conjugaison pour exprimer ses besoins et activités : le passé composé, le présent et le futur. Nous avons alimenté notre base de données par 256 verbes. Ces derniers sont divisés en deux groupes : verbes réguliers et verbes irréguliers. Notre outil se base sur des algorithmes de conjugaison automatique des verbes dans les trois temps fixés préalablement. La fonction de conjugaison reçoit le nombre et le genre du sujet pour conjuguer le verbe correctement. Nous avons travaillé sur les deux types de verbes d'une manière différente :

Les verbes réguliers sont stockés sous leur forme infinitive, ainsi que leur racine. La fonction change les terminaisons de chaque verbe selon le contexte général de la phrase.

Les verbes irréguliers sont enregistrés avec leur forme infinitive, mais nous avons saisi la conjugaison de ces verbes dans les trois temps manuellement. Il n'existe pas de règle générale pour la conjugaison de ces verbes.

2.4.7. Traitement automatique du texte

L'objectif principal de cette application, est de faciliter le plus possible la communication pour les enfants dysphasiques. Pour cela, notre logiciel se charge de la gestion des différentes étapes de la sémantique grammaticale de la langue française.

Il est très difficile de trouver une représentation pictographique de certains verbes très utilisés, comme les verbes « être » et « avoir », surtout pour un enfant qui souffre d'un problème de communication. Alors, pour éviter une charge mentale excessive pour l'enfant, le logiciel intervient d'une manière directe pour modifier certains éléments de la phrase textuelle pour la rendre plus juste du point de vue de la grammaire française.

Par exemple, dans les phrases simples qui contiennent un adjectif, il suffit que l'enfant sélectionne le sujet et l'adjectif, pour que l'application intègre automatiquement le verbe être dans la phrase en l'accordant avec le sujet. Cette fonction résout les difficultés qu'ont les enfants dysphasiques avec la grammaire, d'autant plus qu'il est difficile de concevoir un pictogramme qui désigne le verbe être.

De même, pour les articles définis, il n'y a pas un pictogramme qui peut désigner l'article « le » par exemple. Alors, il est attribué directement au sujet ou au complément selon la phrase saisie.

Si l'enfant veut parler de sa maman et a envie de dire « MAMAN EST BELLE ». Il sélectionne le pictogramme « MAMAN » après le pictogramme « BEAU ». Notre algorithme de grammaire prend ces éléments, les analyses, et ensuite, affiche la phrase textuelle correspondante correctement.



Figure 2.6 : *Exemple de la traduction d'une phrase pictographique en phrase textuelle dictée par le logiciel*

2.4.8. Personnalisation de l'interface

Le point fort de Pictokids est l'option de personnalisation des pictogrammes. Le logiciel offre des pictogrammes standards à tous les utilisateurs. Ces derniers ont la possibilité de personnaliser certains de ces pictogrammes ou encore d'ajouter d'autres qui n'existent pas. Un

enfant dysphasique voudrait bien par exemple voir une photo de sa mère ou de quelqu'un d'autre au lieu d'un pictogramme qui désigne une personne sans caractères spécifiques pour lui. Dans ce cas, les aidants peuvent personnaliser les pictogrammes en fonction des souhaits de l'enfant.

Un autre type de personnalisation s'appuie sur l'enrichissement du logiciel par des nouveaux pictogrammes. Si par exemple l'enfant a un chien personnel ou un ami proche, l'interface de l'application propose d'alimenter la base de données par des nouveaux pictogrammes personnels et spécifiques à l'enfant utilisateur du logiciel Pictokids. C'est-à-dire, son chien et son ami, pour le cas cité.

2.5. Évaluation

Nous avons mené une évaluation ergonomique du logiciel Pictokids afin de vérifier la potentialité de la communication entre l'émetteur et le récepteur.

Notre première hypothèse cible l'organisation des pictogrammes comme un facteur primordial de la qualité de la communication. L'évaluation a été effectuée à Valenciennes au sein d'un IME (Institut Médico-Educatif) de l'APEI (Association de Parents d'Enfants Inaptes). Nous avons ciblé une population de 13 à 16 ans atteinte d'un handicap mental de sévérité moyenne. Afin d'installer un protocole de référence, nous avons testé le logiciel avec deux enfants âgés de 10 et 12 ans qui ne souffrent pas d'un déficit cognitif ou physique. Les sujets ont commencé par une phase de compréhension et d'exploitation des interfaces et des modes de communication. Les scénarios de test portent sur les trois modes (Alphabétique, Grammaticale et Thématique).

Les résultats de cette évaluation montrent que le délai de l'échange est relativement rapide. Les sujets ont mis 2,3 minutes pour construire une phrase correcte. Nous avons appliqué un changement léger sur l'organisation des pictogrammes, qui a montré que la classification de ces derniers, influe sur la qualité de la communication. En moyenne, nous avons eu la valeur de 2,50 minutes pour construire une phrase simple en mode thématique chez les sujets déficients et 3,20 minutes en mode alphabétique. En revanche, chez le groupe de référence, bien évidement la construction de la phrase est plus rapide (1,50 minutes pour le mode thématique et 2 minutes pour le mode alphabétique)

Une deuxième évaluation du logiciel Pictokids a été réalisée dans le cadre d'un stage de master consistant à comparer Pictokids avec un autre logiciel existant sur le marché (Mind Express) [Mortera 10]. Cette dernière a mis en évidence les points forts et les points à améliorer

dans Pictokids à savoir sa plasticité et l'amélioration de son adaptation à différentes capacités intellectuelles.

2.6. Conclusion

Les évaluations ergonomiques ont montré l'importance des interfaces homme-machine dans la communication multimodale, ainsi que l'influence de l'icône dans les échanges humains. Les résultats ont montré aussi qu'un outil de communication simple peut favoriser et perfectionner la lecture et la compréhension de la langue en récréant une nouvelle méthode d'apprentissage.

Signalons au passage que le logiciel Pictokids a remporté le premier prix « Challenge Technologie et Handicap » à Metz dans la catégorie « Communication », et a été présenté au congrès Handicap 2010 en juin.

Chapitre 3 : **TETE PARLANTE CODEUSE EN LPC**[6]

3.1. Introduction

Lorsqu'un handicap affecte nos outils de communication, nous développons d'autres stratégies pour pallier à cette défaillance. La lecture labiale permet aux personnes sourdes d'identifier les sons prononcés par l'interlocuteur d'une manière visuelle. Dans une conversation face à face, nous avons une perception visuelle des mots prononcés sur les lèvres de l'interlocuteur. C'est une technique utilisée par les personnes sourdes et malentendantes pour accéder à la parole et établir la communication, en utilisant l'information visuelle. Cette technique se heurte à des obstacles et des ambiguïtés posés par certaines syllabes qui ont la même perception visuelle. Exemple : B et P ou F et V.

Pour cela, les pratiquants de la lecture labiale ont besoin d'une technique permettant d'enlever les ambiguïtés causées par les syllabes qui ont la même image labiale. Le Langage Parlé Complété (LPC) permet de compléter parfaitement la lecture labiale. C'est la version française de Cued Speech (CS) [*Cornett 67*].

Le LPC est un codage basé sur le principe des syllabes, qui est la combinaison du couple consonne-voyelle. Dans une conversation entre un sourd et une personne parlant, le locuteur qui parle utilise une de ses mains pour indiquer un sous-ensemble de consonnes et une position pour mentionner un sous-ensemble de voyelles.

En français, les consonnes sont codées par huit configurations de la main. Chaque configuration désigne un groupe de lettres de l'alphabet. La figure 3.1 présente les lettres associées à chaque configuration de la main.

[6] Ce travail a été financé en partie par la convention AIMA A 1105025Q de la Région Ile de France - Oseo

			
Conf 1	Conf 2	Conf 3	Conf 4
(d), (p), (j)	(k), (v), (z)	(s), (r)	(b), (n), (y)
			
Conf 5	Conf 6	Conf 7	Conf 8
(t), (m), (f)	(l), (ch), (w), (gn)	(g)	(ll), (ng)

Figure 3.1 : *Liste des configurations de la main pour le codage des consonnes dans le LPC*

Les voyelles sont codées par la position de la main sur le visage. Il y a 5 positions : Côté, Pommette, Bouche, Menton et Gorge (***fig.*** 3.2).

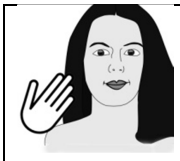
				
Côté	Bouche	Menton	Pommette	Gorge
(a), (au), (eu)	(i), (on), (an)	(ai), (ou), (o)	(ain), (e)	(u), (ée)

Figure 3.2 : *Liste des positions pour le codage des voyelles dans le LPC*

Le couple configuration-position forme une syllabe de type consonne-voyelle. Le principe est de différencier les phonèmes ayant la même représentation visuelle sur les lèvres, afin que la personne sourde puisse les distinguer entre eux, et lever les ambiguïtés causées.

L'objectif de ce travail, est de concevoir un système qui génère le code de LPC à partir d'une tête parlante située devant une personne sourde ou malentendante. Ce travail a commencé comme sujet de stage de master 2 et a continué après durant ma thèse et mes travaux de recherche concernant la communication chez les personnes handicapées. Nous avons sélectionné un agent conversationnel déjà existant capable de générer des gestes et des émotions humaines d'une manière plus dynamique. Pour cela, nous avons collaboré avec l'équipe de Mme Catherine Pelachaud [*Pelachaud 02*] pour travailler sur l'agent

conversationnel animé Greta[7]. Il permet une synthèse multimodale des comportements verbaux et non verbaux. Dans un premier temps, nous avons créé les codes du LPC concernant les huit configurations et cinq positions. Ensuite nous avons intégré ces codes dans la tête parlante Greta. Et enfin, nous avons analysé les résultats obtenus durant cette étude.

3.2. Tête parlante

Les Agents Conversationnels Animés (ACAs) sont particulièrement intéressants dans le contexte d'études expérimentales sur la perception de comportements émotionnels multimodaux, cela est dû à la capacité de contrôler leurs signaux comportementaux et même leurs modalités.

Des projets de recherche avaient concentrés leur axe sur la conception et le développement d'un système capable de reconnaitre automatiquement la parole [Labiao 05] [Pouliquen 07]. Il s'agit d'un service de LPC assisté par une interface Homme-Machine qui simule les gestes d'un signeur humain. Un exemple de ces plateformes est la tête parlante LUCIA qui est basée sur le modèle de coarticulation labiale Cohen-Massaro [Cosi 03]. Dans ce travail nous avons sélectionné une autre plateforme nommé Greta suite à une collaboration avec le département TSI de Télécom ParisTech qui ont mis à notre disposition tout le code source de cette architecture.

Nous avons aussi le projet ARTUS qui travaille sur un synthétiseur des mouvements du LPC à partir du texte. Ce projet a commencé par une étude des coordinations temporelles des gestes de la LPC par une codeuse pratiquante du LPC. Deux expériences ont été mis en place pour cette étude ; la première a eu pour but d'analyser l'emplacement de la main par rapport au mouvement des lèvres ainsi que le son qu'il l'accompagne, et la deuxième expérience qui utilise un gant de données afin d'enregistrer les différents points de la main lors de la réalisation des gestes du LPC [Attina 04]. Les résultats de ce travail a montré une anticipation du geste de la main sur celui des lèvres. Puis l'architecture utilise une adaptation d'un système de synthèse de parole multimodale à partir du texte. Il s'agit d'un serveur de synthèse de parole nommé Compost [Bailly 92]. Ensuite l'équipe d'ARTUS a procédé au codage des gestes faciaux et des gestes LPC avec un tatouage des flux vidéo et audio. La dernière étape de ce travail consiste à une animation vidéo-réaliste d'un clone de la codeuse par le développement des modèles 3D de formes visage et main [Bailly 06].

[7] Greta est une plateforme d'ACA réalisé par le département TSI de Télécom ParisTech.

Notre approche dans ce travail consiste à développer un codage du LPC, de l'intégrer dans une tête parlante et de synchroniser la gestualité du LPC avec les mouvements des lèvres de la tête parlante. Greta est une architecture multimodale capable de produire une communication verbale et non verbale (***fig.*** 3.3). Cette dernière peut avoir un aspect visuel et expressif. Le mécanisme de fonctionnement de Greta est divisé en deux grands modules : le premier module s'intéresse au visage. Sa forme, sa texture et ses expressions sont commandées par le moteur contenant des ensembles des paramètres de définition faciaux (FDP), et des paramètres de l'animation faciaux (FAP), qui gèrent les mouvements du visage. Le deuxième module contient tous les fichiers qui interviennent dans le contrôle des gestes du corps. Dans ce cas-là, il s'agit de BAP [*Pasquariello 01*].



Figure 3.3 : *L'agent conversationnel Greta*

Le choix de Greta comme avatar d'expérimentation s'est basé sur les critères mentionnés précédemment. C'est une tête parlante capable de générer un signal vocal en français, et aussi des expressions faciales. Ce qui nous intéresse essentiellement dans cette étude est les mouvements des lèvres et l'articulation des différents phonèmes.

Nous travaillons dans un cadre de communication artificielle qui s'appuie sur des requêtes d'information. Les éléments de cette communication doivent être capables de réaliser cette réaction. Il s'agit de la personne sourde qui demande une information, l'agent conversationnel et le message transmis par ce dernier sous la forme du codage LPC.

La tête parlante Greta que nous avons choisie dans cette recherche simule parfaitement une conversation humaine sur tous les niveaux de communication : parole, gestes et émotions. Cette multi-modalité nous a aidé à la réalisation de notre travail, et a produit des

résultats très prometteurs en terme des interfaces homme-machine. La principale tâche de ce travail est de créer un module de gestes du LPC exécuté par Greta tout en respectant la synchronisation entre les gestes et les mouvements des lèvres.

3.3. Greta codeuse en LPC

Le codage LPC se base sur 8 configurations de la main (consonnes) et 5 positions proches du visage (voyelles). La combinaison des configurations et des positions donne en total 40 gestes pour coder les lettres de l'alphabet français.

Sachant que le codage LPC se fait par une seule main et que la majorité des personnes sont droitières. Nous avons sélectionné la main droite de Greta pour gesticuler en LPC. Chaque configuration de la main est pilotée par un fichier qui contient les paramètres qui caractérisent chaque forme. Les positions sont définies par des coordonnées tridimensionnelles par rapport au corps de l'agent conversationnel.

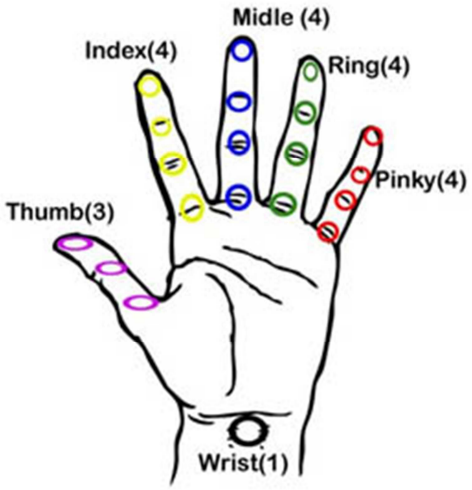


Figure 3.4 : *Points de contrôle de la main par les fichiers de codage (20 points)*

Nous avons exploité l'architecture du système Greta pour créer notre propre codage LPC que nous allons utiliser par la suite dans la phase de signation. Une configuration de la main est caractérisée par 20 points de contrôle. Ces points présentent les différentes articulations des doigts. Chaque point a trois coordonnées dans l'espace (***fig.*** 3.4). Ainsi nous avons :

Le poignet de la main : il est représenté par un seul point. Cette articulation permet de contrôler l'ensemble de la main sans changer sa forme, elle joue le rôle principal pour la rotation et le déplacement. Pour cela, elle est considérée comme l'origine de notre repère tridimensionnel.

Le pouce : Ce doigt est codé sur trois points.

L'index, le majeur, l'annulaire et l'articulaire : Chaque doigt est marquée par 4 points d'articulation.

Les coordonnées de ces points sont regroupées dans un fichier de configuration pour sauvegarder la structure de chaque forme de la main (***fig***. 3.5).



	X	Y	Z
r_wrist	0.00	0.00	0.00
r_thumb1	-14.00	2.00	-2.00
r_thumb2	-7.00	0.00	0.00
r_thumb3	-16.00	0.00	0.00
r_index0	0.00	0.00	0.00
r_index1	2.00	0.00	-2.00
r_index2	0.00	0.00	0.00
r_index3	0.00	0.00	0.00
r_middle0	0.00	0.00	0.00
r_middle1	-2.00	0.00	-5.00
r_middle2	0.00	0.00	0.00
r_middle3	0.00	0.00	0.00
r_ring0	0.00	0.00	0.00
r_ring1	-7.00	0.00	-7.00
r_ring2	0.00	0.00	0.00
r_ring3	0.00	0.00	0.00
r_pinky0	0.00	0.00	0.00
r_pinky1	-11.00	0.00	-9.00
r_pinky2	0.00	0.00	0.00
r_pinky3	0.00	0.00	0.00

Figure 3.5 : *Exemple de fichier de pilotage de la configuration 5*

Le LPC code les voyelles par la position de la main. Nous avons 5 positions : Côté, Pommette, Bouche, Menton et Gorge. La représentation de ces dernières se fait sur un plan vertical par rapport au sol et proche du visage de l'interlocuteur. Ce qui permet de compléter la lecture des lèvres en mettant la main dans la position correspondante au phonème prononcé.

Pour automatiser l'utilisation des gestes du LPC, nous avons intégré une interface LPC dans l'interface globale de pilotage de Greta (***fig.*** 3.6). Elle nous a permet de générer les 40 gestes du LPC qui interprète l'ensemble de l'alphabet français, afin de les intégrer dans une séquence d'animation de Greta pour accompagner la parole.

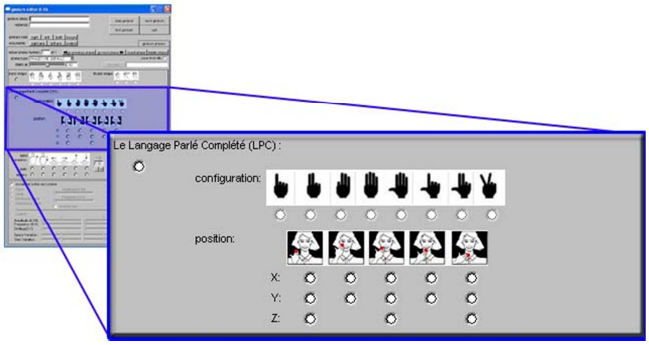


Figure 3.6 : *Interface de pilotage et création des gestes du LPC*

Cette étape nous a aidés pour accélérer l'exécution des gestes du LPC au lieu de les reproduire à chaque animation du Greta.

La figure 3.7 montre le résultat obtenu au niveau de la création du codage du LPC à partir de l'interface de pilotage dédié à la tête parlante Greta.

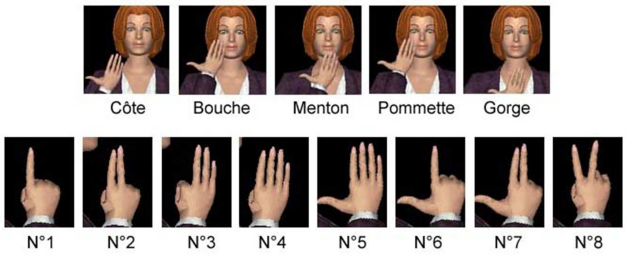


Figure 3.7 : *Gestes de LPC générés par Greta*

3.4. Interprétation des résultats

3.4.1. Geste de LPC

Greta exprime ses gestes grâce aux fichiers XML. Ces derniers contiennent tous les paramètres nécessaires pour l'animation d'un comportement ou d'un geste. Chaque geste est défini par un ensemble de paramètres concernant le type de geste, le moment de l'exécution, la durée de l'animation, l'intensité et la fin du geste. L'architecture technique du Greta nous donne aussi plusieurs possibilités d'utilisation de ces fichiers XML. Durant cette étude nous avons sélectionné deux méthodes :

La première méthode consiste à créer un fichier XML qui contient la liste des gestes à exécuter, en indiquant tous les paramètres de l'animation.

Pour la deuxième méthode, il suffit d'indiquer la phrase textuelle de l'animation, qui génère un fichier de phonèmes. Ce dernier est appelé par Greta pour exécuter l'animation.

Dans cette partie, nous avons concentré notre travail sur la première méthode. Ce choix a été fait au début pour valider les gestes que nous avons créé, et étudier la façon dont Greta exécute les codes de LPC. Le but est d'optimiser le plus possible l'animation sur la partie visage du Greta.

Pour cela nous avons testé le système sur la phrase : « Elle a un piano à pile, et plus de pile d'ailleurs... ». [*http://www.alpc.asso.fr/code01-c.htm*]. Le fichier XML correspondant à cette phrase comporte une succession des balises *<gesture>*. Le rôle de cette balise est d'encapsuler les paramètres de chaque geste LPC qui se base sur toutes les syllabes de la phrase sélectionnée (***fig.*** 3.8).

```
...
<gesture id="g2"   start="1.3" end="0.50" stroke="0.2">
    <description level="1" type="gretabml">
        <reference>LPC=Conf6Cote</reference>
        <intensity>1.00</intensity>
        <FLD.value>0.00</FLD.value>
        <PWR.value>0.00</PWR.value>
        <REP.value>0.00</REP.value>
        <SPC.value>0.00</SPC.value>
        <TMP.value>0.00</TMP.value>
    </description>
</gesture>
...
```

Figure 3.8 : *Extrait de fichier XML montrant la structure de la balise <gesture>*

Cet extrait du fichier XML de notre exemple (la phrase sélectionnée) montre la structure détaillée de la balise « gesture ». Il y a le nom du geste à exécuter, le moment de lancement ou de démarrage et la durée de l'animation. Sur l'extrait, nous remarquons qu'il s'agit de la configuration 6 à la position 'Côté' qui sera exécutée après 1,3 du lancement de l'animation et durera 0.5 seconde.

Notons que ce test a été effectué sans synthèse vocale : sans mouvement des lèvres de Geta.

Les résultats et les gestes du LPC générés par Greta pour coder toutes les syllabes de la phrase choisie, sont présentés sur la figure 3.9.

Afin d'avoir une comparaison objective, la même phrase a été prononcée par une animatrice [*http://www.alpc.asso.fr/code01-c.htm*]. Cette dernière parle et effectue simultanément les gestes du LPC. Le but de cette comparaison est de vérifier la clarification des gestes du LPC générés par Greta et la compatibilité de ces gestes avec ceux de l'animatrice.



Figure 3.9 : *Comparaison entre les gestes générés par Greta et ceux de l'animatrice*

3.4.2. Geste de LPC et mouvement des lèvres

Après les résultats de la première expérimentation dans la section précédente, nous avons travaillé sur la problématique de la gestion des fichiers XML qui se fait semi automatiquement. L'administrateur doit citer la liste des gestes du LPC et Greta exécute le fichier XML.

L'idée est de remplacer le contenu du fichier XML par une phrase textuelle prononcée par Greta. Pour ce faire, nous avons commencé par intégrer une synthèse vocale en français nommée WinEuler [*http://tcts.fpms.ac.be*], avant de travailler sur l'autonomie de l'agent conversationnel durant la transmission du code LPC.

Nous avons créé une fonction « GestureLPC » qui joue le rôle de l'intermédiaire entre les codes que nous avons généré dans la première partie de ce travail, et le fichier des phonèmes générés par la synthèse vocale. Cette dernière convertie la phrase textuelle en segments phonétiques exploitable par la fonction « GestureLPC ». La structure du fichier phonétique est composée par des phonèmes de la phrase textuelle mentionnée dans le fichier XML. Le rôle principal de la fonction « GestureLPC » est la création d'un vecteur de configurations qui correspond exactement à la liste des phonèmes du fichier phonétique. Ensuite Greta anime le codage du LPC simultanément avec la synthèse vocale.

Les résultats de ce test, montrent que la tête parlante Greta a acquis un niveau d'autonomie plus élevé que le test précédent. Nous avons une synthèse vocale qui accompagne les gestes de LPC. Nous avons aussi une intervention minimale du facteur humain lors de l'exécution des gestes (***fig.*** 3.10). Cependant, nous avons constaté un manque de synchronisation entre les mouvements des lèvres et l'exécution des gestes de LPC. Il y a un décalage entre les deux phénomènes, qui est caractérisé par un avancement de la parole.



Séquence 1 Séquence 2 Séquence 3

Figure 3.10 : *Démonstration des gestes du LPC accompagnés des mouvements des lèvres*

3.5. Conclusion

Durant cette partie, nous avons examiné un système de codage basé sur des gestes humains pour résoudre un problème particulier de la communication. Il s'agit du codage LPC qui permet de faciliter l'accès à la parole en complétant la lecture labiale chez les personnes sourdes. Nous avons pu présenter deux versions d'une tête parlante capable de s'exprimer en LPC : la première version a réussi à respecter le codage de LPC sur le plan de la rapidité d'exécution sans appliquer la synthèse vocale. La deuxième version est plus complète. Nous avons intégré la synthèse vocale dans la tête parlante qui a pu prononcer la phrase textuelle simultanément avec les gestes du LPC. Cependant, la dernière version demande plus de travail sur la synchronisation entre la parole et les gestes du LPC. C'est pour cela que nous proposons de continuer cette recherche en intégrant des algorithmes de programmation dynamique, proche de Levenshtein Distance [*Levenshtein 66*] et d'adapter la vitesse de la parole avec celle des gestes. Si l'intégration du codage du LPC dans un agent conversationnel est une opération réalisable et applicable, nous avons constaté que l'intégration des gestes du LSF dans Greta présente des problématiques techniques et linguistiques. Son aspect visio-gestuel nécessite une modélisation précise de cette langue ainsi que de ses fonctionnalités [Braffort 07].

Ces travaux ont été poursuivi avec l'objectif de générer une mimique faciale en fonction du contenu et de l'expression faciale accompagné d'une analyse de la voix. Cette dernière permet de générer un texte dans le but d'animer les mouvements des lèvres [Daassi 10].

DEUXIEME PARTIE

Le dictionnaire inversé :

Un outil d'accès à la LSF

Chapitre 4 : **PROBLEMATIQUE DU DICTIONNAIRE INVERSE**

4.1. Introduction

Une autre voie de recherche sur les apports numériques dans la communication des personnes handicapées, peut être orientée vers la LSF. Depuis une dizaine d'années, Internet a facilité la publication des dictionnaires lexicaux qui permettent de trouver la vidéo d'un signe à partir d'une requête d'un mot en français. Nous abordons ici la question de trouver le mot à partir du signe. L'objectif est de proposer une solution ergonomique capable de faciliter la recherche d'un signe en LSF pour les deux communautés (entendente et sourde) tout en simplifiant l'accès à son vocabulaire et respectant au maximum la structure de cette langue. Rappelons que dans cette recherche nous intéressons aux unités lexicales et vocabulaire de la LSF. Les signes utilisés dans notre base de données sont des signes hors contexte et ne dépend pas de la syntaxe de cette langue. Nous traitons la construction indexée d'un dictionnaire pour la LSF et le développement des interfaces ergonomiques pour chercher et consulter ses éléments. Nous avons commencé ce travail suite à une tentative des étudiants de master qui ont développé un modèle de recherche de signes en LSF lors d'un projet technique [Moreau 04]. Nous avons pris l'idée de réaliser un dictionnaire en se basant sur la perception des utilisateurs sur les signes selon leurs profils. Ensuite nous avons cherché comment le rendre le plus ergonomique possible. Pour cela nous avons analysé à la fois le déroulement de la recherche d'un signe et la pertinence des résultats obtenu par rapport aux paramètres donnés. La population que nous ciblons dans ce travail présente des profils de niveaux très diversifies en LSF.

4.2. Problématique

La langue des signes est une langue gestuelle pratiquée en grande partie dans l'espace-temps. Ce caractère spatial pose des difficultés liées à la mise en œuvre informatique de cette langue [*Aznar 08*] [*Lefebvre-Albaret 09*]. La grande quantité d'information à traiter constitue un

véritable défi qui, une fois relevé, ouvre la voie à une communication plus souple entre la communauté des personnes sourdes et les personnes entendantes.

Les paramètres linguistiques de ces langues doivent être effectués simultanément. Ce sont des unités minimales non signifiantes qui se composent entre eux pour former un signe signifiant. Les auteurs qui ont étudié la structure des signes des LS proposent un nombre différents de paramètres. La notation de Stokoe a retenu trois paramètres pour la structure du signe en ASL [Stokoe 76]. Elle se base sur 55 symboles regroupés dans trois groupes : la **configuration**, l'**emplacement** et le **mouvement**. Ces paramètres ont été étendus suite aux travaux de Battison qui a rajouté l'**orientation** de la paume de la main comme quatrième paramètre de signes lors de sa recherche sur la symétrie de ces derniers [Battison 78]. En revanche la majorité des chercheurs considèrent que les signes sont constitués de cinq paramètres en incluant les **expressions faciales** [Moody 86]. Nous avons aussi la notion de la main dominante et la main dominée dans les LS. La main dominante présente en général la main droite chez les droitiers (le contraire chez les gauchers) qui effectue le geste ou le mouvement lors de la production d'un signe. Dans les signes ou le signeur utilise ses deux mains la main dominée présente parfois l'emplacement pour la main dominante ou elle effectue le même mouvement de la main dominante en symétrie.

L'accès au vocabulaire des langues des signes prend des aspects différents. Selon le cas, nous pouvons distinguer des accès par intermédiaire humain (les interprètes) ou matériel (logiciels et dictionnaires).

4.3. Le rôle du paramètre :

En 1960, Stokoe présente les résultats de ses recherches sur les structures linguistiques de l'ASL qui montrent la présence d'une double articulation ce cette dernière (ASL). Ce critère accorde à la langue des signes un statut linguistique reconnu par le monde entier [Stokoe 60]. La double articulation signifie que n'importe qu'elle langue dans le monde contient plusieurs niveaux. Le niveau le plus haut est composé de des mots et des phrases et le niveau le plus bas est composé des petites unités qui ne sont pas signifiantes dans la communication humaine. En revanche, ces petites unités que Stokoe a nommé « aspect » peuvent être en combinaison pour construire des unités significatives (signes). Dans sa notation, nous pouvons distinguer trois type de chérèmes qui sont l'équivalent des phonèmes dans les langues vocales : DES pour signifier un designator (c'est la configuration de la main qui prend ce rôle), nous avons aussi TAB pour désigner une tabulation (l'emplacement de la main) et SIG qui présente la signation (Le mouvement). D'autre part, ce qui est considéré comme des chérèmes (rôle phonétique) en LS

dans l'optique de stokoe serait l'équivalent d'un ensemble de morphèmes relevant chacun un statut linguistique [Cuxac 2000]. Son modèle de structuration morphémique mis le doigt sur la valeur iconique potentielle en minimisant la valeur paramétrique. Dans cette recherche nous allons considérer les paramètres de la LSF comme des éléments « constituants » des signes.

4.4. Accès à la LSF

4.4.1. Les interprètes de la langue

Ils jouent le rôle des interprètes de la langue vocale vers la langue des signes et vice-versa. Un interprète exerce le même métier qu'un traducteur des langues, de fait qu'il transmet le message de la langue d'origine vers la langue cible. En revanche, Les interprètes ont besoin de conditions spécifiques pour leur travail. Ces besoins se manifestent tout autant dans les grandes rencontres et les congrès, que dans les actions de la vie quotidienne (médecin, tribunaux, etc.). Un interprète de la langue des signes doit être mis dans le champ visuel des personnes sourdes. Il est toujours à côté de la personne qui parle au lieu d'être dans une cabine fermée, sauf dans le cas d'une projection murale.

Notons ici que la structure d'une langue vocale est très différente de la structure d'une langue des signes. Cette différence explique la difficulté d'envisager une traduction automatique à partir du texte. La complexité réside dans la différence qui existe entre le passage d'une langue vocale vers une autre langue vocale d'une part, et le passage entre une langue vocale vers une langue des signes d'autre part.

4.4.2. Reconnaissance des gestes

Un geste est un mouvement du corps ou d'une partie du corps qui exprime un état ou décrit un objet. Plusieurs études ont été effectuées dans le domaine de la reconnaissance des gestes de la langue des signes [*Lefebvre-Albaret 09*] ainsi que le traitement automatique des corpus de la LS [Braffort 10]. Il s'agit de la détection des énoncés signée à partir des séquences vidéo. L'utilisation des algorithmes de traitements de signal a beaucoup amélioré les résultats dans ce domaine, au même titre que l'apparition des gants de capture numériques a donné plus de finition sur la détection des mouvements. Ce domaine amène à étudier et à traiter la structure d'une langue encore incomplètement décrite sans forme écrite.

Le traitement de la langue consiste à distinguer la forme que la recherche va étudier. Ce domaine porte sur plusieurs taches de traitement à savoir la segmentation, la structuration,

mesures et caractérisations, construction de l'espace de signation, l'annotation des vidéos en LSF … [Braffort 07]. Il existe deux formes : la forme parlée de la langue (cinématique) et la forme écrite de la langue (graphique) [Braffort 08]. Les travaux de Braffort ont ciblé un modèle de reconnaissance des gestes qui dépasse le cadre applicatif de chaque plateforme afin de produire un modèle réutilisable adapté aux différents contextes et assurer un moyen d'évaluation de qualité. Ainsi, sa participation dans le projet LS-COLIN a ouvert plusieurs pistes d'analyse et de recherche sur le meilleur corpus de la LS en France. D'autre part, l'approche informatique pour annoter les vidéos de la LSF proposée dans la mémoire d'HDR de Braffort a mis le point sur le protocole à suivre pour réaliser ce travail [Braffort 08]. Elle propose trois études d'annotation :

- Annotation des informations spatiales
- Annotation des informations non manuelles
- Annotation des mouvements du buste

4.4.3. Dictionnaires

Pour trouver l'équivalent d'un mot d'une langue étrangère, nous nous dirigeons d'abord vers le dictionnaire. Il nous permet de réduire rapidement le temps et l'effort de recherche. Cet avantage est dû à la classification des énoncés basée sur des critères linguistiques offerts par les dictionnaires. Dans cette étude, nous essayons d'élaborer un dictionnaire spécifique à la LSF.

4.4.3.1. Qu'est-ce qu'un dictionnaire ?

Selon le Larousse, un dictionnaire est : « un ouvrage didactique constitué par un ensemble d'articles dont l'entrée constitue un mot, indépendants les uns des autres et rangés dans un ordre déterminé, le plus souvent alphabétique ».

Le Robert définit le mot dictionnaire comme : « Recueil contenant des mots, des expressions d'une langue, présentés dans un ordre convenu, et qui donne des définitions, des informations sur eux. ». D'après ces définitions nous pouvons nous appuyer sur deux principes : le rangement et l'ordre. Ils constituent la base de tous les dictionnaires pour simplifier l'accès à leurs éléments. Dans les langues orales, les dictionnaires sont souvent classés par ordre alphabétique. En revanche, dans la langue chinoise qui est une langue basée sur les sinogrammes (caractères chinois) au lieu des alphabets, le classement de son dictionnaire se base sur des clés.

D'autres dictionnaires sont classés par thèmes ou par idées (de l'idée au mot), mais dans un dictionnaire d'une langue vers une autre, ce qui est utilisé couramment est l'ordre

alphabétique. Ceci implique qu'une autorité définisse cet ordre, en général il s'agit des académies de la langue.

4.4.3.2. Dictionnaire de LSF :

Les dictionnaires disponibles de la LS traitent la traduction des expressions écrites vers la langue gestuelle. Cette traduction porte parfois un niveau de complexité considérable aussi bien pour les utilisateurs sourds que pour les utilisateurs entendants [Moreau 12]. Dans les versions livre et électronique, nous trouvons des expressions de la langue vocale regroupées par ordre alphabétique et parfois thématique pour faciliter la recherche de leurs équivalents en LS.

Dans une étude sur les supports physiques et techniques qui permettent un accès à la langue des signes française, nous avons constaté que la majorité propose un accès basé sur la langue française et pas directement la LSF. Ce qui impose la connaissance préalable de la langue écrite par les sourds afin qu'ils puissent accéder au vocabulaire de leur langue. Ces outils s'appuient sur l'approche classique d'un dictionnaire qui se fonde sur le principe de saisi des lettres ou des mots et affiche les résultats (dans le cas de la langue des signes le résultat est sous la forme d'un dessin, vidéo ou animation) [Moreau 12][8]. Ce phénomène peut être valable aussi pour les autres langues des signes dans le monde.

LSFDico : http://www.lsfdico-injsmetz.fr/

Le site est réalisé par l'institut National de jeunes sourds à Metz. Ce portail de la LSF présente trois types de recherche : la recherche de signe par mot, la recherche de signe par ordre alphabétique et la recherche de signe par configuration de la main. Dans les deux premières méthodes, l'accès au vocabulaire nécessite une maitrise de la langue française. Par contre, la troisième méthode permet de faire une recherche par configuration de la main. Il suffit de sélectionner le nombre de la main au début de la recherche puis l'interface propose 53 configurations de la main à choisir. L'utilisateur clique sur une configuration et l'interface affiche une liste de mots en français correspondante à la configuration sélectionnée. Les signes sont affichés sous la forme d'une vidéo.

Le site contient 2000 signes.

Sourds : http://www.sourds.net/dicolsf/dictionnaire/

Le site est considéré comme un portail d'information sur les sourds, mais l'accès à son dictionnaire se fait dans un seul sens : du français vers la LSF en passant par des lettres de

[8] Tableau page 21 dans la thèse : Stratégies de reconstruction du sens en langue des signes française à partir de données incomplètes en et hors contexte [Moreau 12]

l'alphabet français. Il contient plus de 3600 signes. Ces derniers sont présentés sous la forme d'une vidéo.

Pisourd : http://www.pisourd.ch/?theme=dicocomplet

Ce site propose huit thèmes de recherche d'un signe et un thème sur l'histoire et le monde des sourds. Il donne aussi la possibilité de chercher un signe en mode texte. Ce qui implique l'obligation d'avoir des connaissances en langue française pour accéder aux signes de la LSF. Le site compte 1866 vidéos de signes et certains signes sont présentés en trois formats : vidéo, image et signEcrit avec une petite définition dans la langue française.

Atelieroptiona : http://atelieroptiona.free.fr/accat/accate.htm

Ce site propose un choix très limité pour chercher un signe. Le site n'affiche que 10 configuration de la main sous la forme d'une image. Chaque image est liée à un ensemble de lettre de l'alphabet français. L'utilisateur sélectionne une lettre dans la liste correspondante à une configuration donnée, puis il valide son choix. Le site affiche le résultat sous la forme des mots, mais nous ne pouvons pas voir le signe en LSF de ce mot.

Handi.cnam : http://handi.cnam.fr/ressources-en-ligne/videos-en-langue-des-signes/

Ce site présente un seul type d'accès aux signes de la LSF : les thèmes. L'utilisateur sélectionne un thème et l'interface affiche la liste des mots correspondante au thème choisi. Le résultat affiché prend la forme d'une vidéo.

LSF sur le web : http://www2.univ-paris8.fr/ingenierie-cognition/master-handi/etudiant/projets/site_lsf/accueil/accueil.php

Le laboratoire THIM a réalisé un dictionnaire de la LSF qui propose trois modes d'accès : alphabétique, thématique et par mot. Le dictionnaire couvre 19 thèmes différents et chaque thème contient un ensemble de sous thème afin de bien guider l'utilisateur à trouver son signe d'une manière plus rapide. L'état actuel de ce dictionnaire permet aux entendants et les sourds ayant des connaissances en langue française d'effectuer leur recherche par signes. En revanche un sourd qui ne connaît pas la langue française n'aura pas la possibilité d'accéder au vocabulaire de notre dictionnaire. Ce dictionnaire contient actuellement 2208 entrées lexicales.

Elix : http://www.elix-lsf.fr/dictionnaire/

Elix est un dictionnaire web de la LSF. Il utilise une interface simple de recherche qui comporte une seule zone de saisie. Cette dernière permet aux utilisateurs de taper des mots en français et le système affiche le résultat sous la forme de trois colonnes. La première donne une

explication du mot en LSF sous la forme d'une vidéo, la deuxième colonne présente une définition écrite en langue française, et la troisième colonne contient la vidéo du signe en LSF.

Sematos : http://www.sematos.eu/lsf.html

Dans ce site le mécanisme de recherche de signe se base sur deux modes différents : le premier consiste à sélectionné un thème de recherche, puis l'interface donne la possibilité de filtrer les résultats de la première sélection par type de mot (Verbe, adjectif, Nom…). Le deuxième mode propose une recherche par configuration de la main.

Sourdlang : http://www.sourdlang.be/C_index2B.php

C'estun site de la langue des signes belge (francophone), il présente un ensemble de rubriques comme l'équivalent de l'alphabet en LS et les nombres en LS. Nous avons dans ce site la possibilité de chercher un signe par thème ou sous la forme d'un dictionnaire en saisissant le mot cherché. Il y a aussi une rubrique nommé « ConfigDico » qui permet de chercher un signe en composant un ensemble de configuration de la main tout en précisent le rôle de la main dominante et la main dominée. Les signes de la LSB sont affichés sous la forme des photos qui montrent la succession des gestes de signes.

Wikisign : http://lsf.wikisign.org/wiki/Wikisign:Accueil

Le site Wikisign est un site collaboratif qui s'inspire de l'idée de la fameuse encyclopédie en ligne Wikipédia. Actuellement, le site compte 562 signes. La recherche des signes se base sur le mode de saisi des mots dans une zone de texte. Le site contient aussi un index des signes en alphabétique et un index de configurations de la main. Le résultat de la recherche des signes est affiché sous la forme d'une vidéo accompagné d'une description textuelle du signe donné. Il présente aussi les configurations de la main utilisées dans le signe.

Parmi les sites cités précédemment, nous n'avons que trois qui donnent la possibilité de chercher par configuration de la main. Cette possibilité reste très restreinte pour accéder au lexique de la LSF. La plupart des sites présentent juste une liste de configurations de la main et le principe de recherche se base sur une sélection complète des signes qui utilisent la configuration donnée. Le champ des résultats reste très vaste, surtout dans les dictionnaires qui contiennent un très grand nombre de signes et la recherche nécessite une connaissance préalable de la structure du signe cherché.

Le tableau 4.1 présente des statistiques sur un échantillon des sites en ligne qui traitent un dictionnaire de la LSF :

Université Paris 8	~2100 signes
Répertoire lexical	~170 signes
Web LSF Lexique	~2100 signes
Pisourd	~1400 signes
LSF Plus	~700 signes
DicoL.S.F	~2600 signes
sématos	~2800 signes
L'impôt en LSF	~350 signes
Elix	~6000 signes
SignPuddle	~900 signes

Tableau 4.1 : *Statistiques sur des sites en ligne de la LSF [wikisign]*

La représentation des signes dans ces dictionnaires prend la forme d'images et de vidéos selon leurs supports (matériels ou/et électroniques). Pour trouver la signification d'un mot en LS, il suffit de sélectionner la première lettre du mot ou de sélectionner le mot dans un thème donné pour voir le signe correspondant en LSF.

Le site de l'université Paris8 porte sur la mise en place d'un portail web en libre accès qui comporte aujourd'hui 2234 vidéos de la terminologie en LSF. Ce corpus des signes LSF est présenté sous la forme de vidéos de petite taille afin de surmonter les obstacles de la transmission causés par des bandes passantes faibles.

Le site permet actuellement l'accès au vocabulaire des signes à partir des listes thématiques (***fig.*** 4.1) ou par un accès alphabétique.



Figure 4.1 : *Liste thématique du site (Français → LSF)*

Ce portail est devenu un site de référence. Nous sommes arrivés à plus de 2,8 millions de téléchargements individuels annuellement. Des compléments de vocabulaire, souvent spécialisés, nous sont demandés en permanence et nous avons commencé une politique de partenariat de manière à compléter ce dictionnaire. (Exemples : Association Planète Science pour le vocabulaire astronomique en collaboration avec l'Observatoire de Paris, Société Thalès pour le vocabulaire technique et d'entreprise, etc.)

http://www2.univ-paris8.fr/ingenierie-cognition/master-handi/etudiant/projets/site_lsf/accueil/accueil.php

Nous avons pris ce site comme référence pour la suite de notre travail sur le dictionnaire inversé. Nous allons aborder par la suite la réalisation d'un dictionnaire inversé, à savoir la modélisation des paramètres de la LSF et présente plus particulièrement la méthode de classification des signes appliquée dans notre travail. Ce site est en mode évaluation et une version 'bêta' peut être consultée ici :

http://www2.univ-paris8.fr/ingenierie-cognition/master-handi/di/

4.5. Le site N3C

4.5.1. Fonctionnement de recherche

Dans le site de N3C, créé par des étudiants dans le cadre d'un projet du master handi [Moreau 06], nous avons une structure simplifiée pour chercher un signe par ses paramètres. Les auteurs ont utilisé deux paramètres : la configuration de la main et son emplacement. L'affichage des configurations met l'utilisateur en face d'une grille de 59 configurations. Au fur et à mesure de la sélection d'une configuration le système affiche une liste des résultats et donne la possibilité de choisir la position. Ce choix peut effectuer par deux modèles : un modèle 3D et un autre 2D basé sur deux plans de sélection. Le modèle à deux plans possède neuf positions verticales et neuf positions horizontales. En revanche, le modèle 3D illustre un cube virtuel en face d'un avatar fixe qui permet de sélectionner un emplacement. Le résultat est affiché sous la forme d'une liste des mots français affichés sous la forme des vidéos [Moreau 07].

4.5.2. Analyse de fonctionnement

Le fonctionnement du site N3C est plutôt simple pour l'utilisateur. Le temps de recherche d'un signe est très court et respectable. Sur le plan ergonomique, il présente des

difficultés pour la recherche. Certaines configurations de la main ne présentent pas une grande différence entre elles concernant la perception visuelle. Il n'y a que l'angle de capture qui produit la différence ce qui cause une redondance des configurations dans le système. La figure 4.2 montre la liste des configurations qui se ressemblent dans le site. Nous avons quatre exemples de couple des configurations ou la perception visuelle ne présente pas une différence.

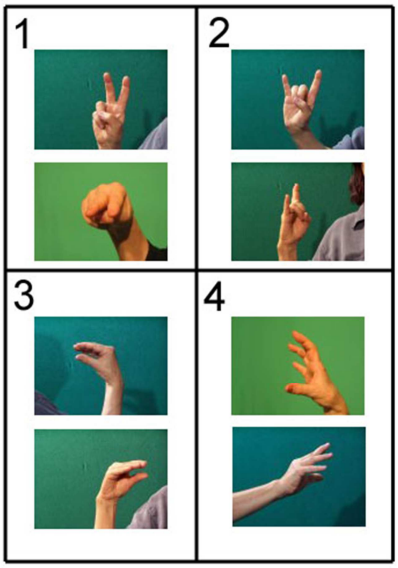


Figure 4.2 : *Exemples des configurations semblables de N3C*

Pour les emplacements de la main, le système offre 27 emplacements regroupés dans un cube. Le choix des emplacements peut s'effectuer par deux modes (section précédente). Nous avons remarqué une incohérence dans la sélection des emplacements dans le mode 2D. Le système ne restreint pas le choix sur le plan horizontal quand l'utilisateur sélectionne une position sur le plan frontal. Par exemple, quand un utilisateur sélectionne une position qui appartient à la main droite (plan frontal) il a toujours la possibilité de sélectionné les neuf positions sur le plan horizontal au lieu de lui limiter le choix entre trois possibilité. Cette manipulation renvoie toujours un résultat vide des signes.

Le site N3C nécessite une connaissance préalable de la langue des signes pour trouver les bons signes. Il faut bien sélectionner la configuration de la main et le bon emplacement codé dans la base de données. Il suffit de changer un emplacement par un autre adjacent pour que le système ne renvoie pas les mêmes résultats.

Pour conclure, le site N3C constitue une initiative prometteuse dans le domaine des dictionnaires de la LSF. Il offre une architecture simple et exploitable sur le plan technique en

atténuant la problématique d'accès aux vocabulaires de la LSF. Nous voulons améliorer ce contexte dans notre travail en fournissant un outil amélioré de la recherche des signes.

4.6. Vers un dictionnaire inversé LSF – Français

Un signe est caractérisé par la configuration de la main, son emplacement dans l'espace (bien qu'il s'agit d'un emplacement relatif), le mouvement accompagné, l'orientation spatiale de la main et les expressions faciales [*Moody 83*]. Ces paramètres coopèrent ensemble pour produire un geste visuel nommé un signe. Nous pouvons déterminer le nombre de signes et la richesse de la langue des signes à partir de ces paramètres.

Nous avons commencé notre travail par l'étude des paramètres de la LSF cités ci-dessus. Pour cela, nous nous sommes basés sur le cadre théorique de C. Cuxac [Cuxac 00] pour simplifier la séparation des deux possibilités de signer en LSF ; "dire en montrant" et "dire sans montrer". Le choix effectué porte sur la deuxième possibilité et nous avons limité la description aux signes standards du vocabulaire de la LSF [*Moreau 06*] [*Tranchant 11*]. Rappelons ici que nous allons travailler sur des signes lexicaux en considérons les paramètres des signes comme des éléments de composition d'un signe. Ce sont des points d'entrée pour notre système ensuite nous allons travailler sur leur utilisation pour accéder à notre dictionnaire ainsi que leur aspect ergonomique loin de leur aspect linguistique. La base de données des vidéos de LSF a été produite au sein du laboratoire THIM dans le but de créer un dictionnaire de la LSF dans un seul sens : Français vers LSF (***fig***. 4.1). Elle avait été commencée dans le cadre d'un projet du Master Handi et poursuivie par la suite dans le cadre du laboratoire avec la collaboration de Josette Bouchaveau et Maurice Duhayer. Ce dictionnaire a été notre base de référence pour ce travail. Notre objectif dans cette partie de thèse est de travailler sur le sens inverse du dictionnaire et d'exploiter les informations fournies par les vidéos de LSF pour développer un outil de recherche des signes fonctionnel et ergonomiquement exploitable tout en respectant la pertinence des résultats obtenus.

4.6.1. Configuration de la main

La configuration de la main présente la morphologie spatiale et gestuelle de la main lors de la signation. Nous différencions les configurations par les articulations des doigts par rapport à un état initial de la main.

Actuellement dans la LSF, nous n'avons pas un nombre de configuration de la main bien défini et reconnu d'une manière formelle. Nous avons des propositions très diverses dans ce domaine [*Boutora 06*]. Boutora a mené une étude sur la perception catégorielle des

configurations manuelles en LSF toute en comparant avec les études effectuées dans ce domaine dans l'ASL. Ces expériences portaient sur deux taches pour la perception catégorielle : une première tâche d'identification et une deuxième de discrimination. Deux types d'expérimentations ont été effectués pour prouver le statut linguistique des configurations de la main, le premier qui est plus récent a confirmé le statut phonémique des configurations manuelles [Emmorey 03] [Baker 02]. Cependant des recherches antérieures ont montré l'absence de cette perception catégorielle [Supalla 75] [Newport 82]. Les spécialistes de la LSF ne sont pas tous d'accord sur la façon de définir les configurations. D'après C. Cuxac [Cuxac 00.b] il y a à la base 39 configurations pour désigner celles qui sont seulement utilisées dans les structures de grande iconicité. En revanche, A. Braffort [*Braffort 96*] a mis en place 55 configurations parmi 139 configurations citées dans ces travaux. Ce nombre a été dégagé suivant des mesures articulatoires des doigts de la main dans le cadre de la réalisation d'un modèle de reconnaissance gestuelle. Le tableau 4.2 présente le nombre de configurations proposé par quatre auteurs qui ont étudié la LSF sur plusieurs aspects (linguistique, informatique…). Nous remarquons une variété très considérable selon les auteurs.

Nom d'auteur	Nombre de configurations proposées
C. Cuxac	39 (grand iconicité)
IVT	61
F. Bonnal	44
A. Braffort	139

Tableau 4.2 : *nombre des configurations de base selon différents auteurs*

Chaque approche de recherche, d'étude ou de modélisation des signes a construit son système de codages et des éléments propre à elle pour les configurations de la main utilisées afin d'accéder au vocabulaire de la langue des signes correspondante. Nous citons le système basique de l'alphabet dactylologique LSF pour présenter simplement les lettres de la langue orale (***fig.*** 4.3) en traversant le modèle de Stokoe composé de 19 configurations nommé DEZ (***tab.*** 4.4) Jusqu'aux systèmes ouverts disponibles dans les plateformes actuelles de dictionnaires (Annexe N).

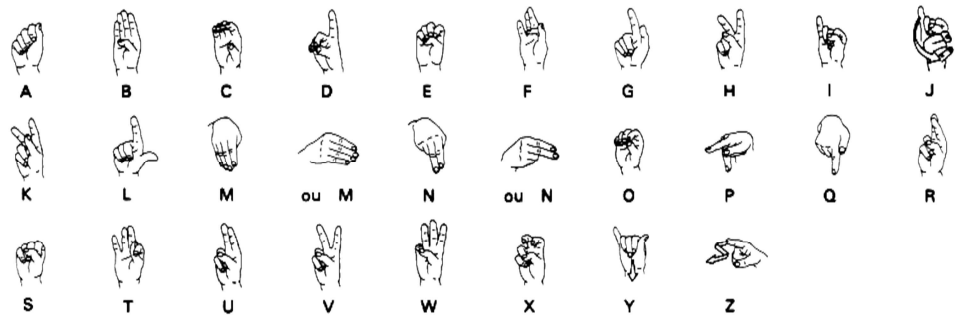


Figure 4.3 : *Alphabet dactylologique de la LSF [Moody 83]*

1.	A	Main fermée (poing) (A, S)
2.	B	Main plate, doigts en contact (B)
3.	5	Main ouverte, doigts écartés (5)
4.	C	Main courbée (C, ou plus ouverte)
5.	E	Main contractée (E, griffe)
6.	F	Index et pouce en contact ou croisés, autres doigts tendus (F, pince)
7.	G	Index tendu, main fermée (G, D)
8.	H	Index et majeur tendus (N)
9.	I	Auriculaire tendu, main fermée (I)
10.	K	Index et majeur tendus, pouce intercalé (K)
11.	L	Pouce et index à angle droit (L)
12.	3	Pouce, index et majeur tendus (3)
13.	O	Doigts courbés, contact pouce-index (O)
14.	R	Majeur et index croisés, autres pliés (R)
15.	V	Index et majeur tendus et écartés (V, 2)
16.	W	Contact pouce-auriculaire, autres tendus (W)
17.	X	Index en crochet (2 plié, crochet)
18.	Y	Pouce et auriculaire tendus, main fermée (Y)
19.	8	Doigts tendus sauf majeur plié (majeur-plié)

Tableau 4.4 : *Liste des configurations manuelles dans le modèle de Stokoe*

Cette variété est due à l'absence d'un contrôle ou d'une « autorité » officielle de référence qui observe et constate la grammaire de la langue des signes comme c'est le cas pour la langue française avec l'Académie de la Langue, par exemple. Par ailleurs, la LSF ne dispose pas d'éléments de diffusion qui contribuent à la stabilité, comme les journaux, la radio, la télé…etc. pour les langues orales. Ceci facilite l'existence des dialectes locaux en particulier des

néologismes et signes des personnes (Internet et les sites spécialisés peuvent contribuer à cette stabilité pour les LS).

Après une étude statistique et approfondie de notre corpus de départ (Vidéos de LSF), nous avons sélectionné un nombre initial de configurations de la main, en se basant sur des critères ergonomiques [*Braffort 96*]. Pour éviter la charge du travail sur nos interfaces du dictionnaire, nous avons retenu 59 configurations de la main qui nous semblent largement suffisantes pour accéder au vocabulaire de notre corpus. L'objectif est de créer un point de départ pour ce paramètre (configuration de la main) sachant que le nombre choisi pourra être modifié en fonction des résultats expérimentaux obtenus durant l'utilisation de notre plate-forme.

4.6.2. Emplacement dans l'espace

Parmi les caractéristiques d'un signe, nous avons l'emplacement de la main. En effet, ce dernier a besoin d'un espace d'exécution ou de réalisation. Ce qui pose des questions sur la définition de cet espace. Il s'agit d'un 'espace de signation' qui représente l'intervalle spatial dans lequel sont signés les signes.

Dans cet espace de signation le signeur positionne tous les paramètres de la LS et exerce ses signes. Plusieurs travaux, spécialement dans le domaine de reconnaissance des signes utilisent des données disponibles des signes pour la reconnaissance comme dans le travail de Starner [Starner 95]. Cependant nous n'avons pas beaucoup de travaux qui traitent la structure spatiale de la LSF. ARGo est une plateforme de traduction iconique pour la LSF. Elle constitue d'une architecture de reconnaissance et d'interprétation automatique de phrases de la LSF. Le système est capable de fournir un traitement des signes standards en contexte [Braffort 97] [Braffort 8]. Les travaux de Lenseigne sur la modélisation de l'espace de signation ont abouti à créer un model basé sur la nature des relations dans une phrase en LSF (relation temporelle, localisation spatiale et actions) et les types des entités dans la même phrases (dates, places, animations et actions) [Lenseigne 05]. La figure 4.5 illustre une vue symbolique de ce modèle de l'espace de signation.

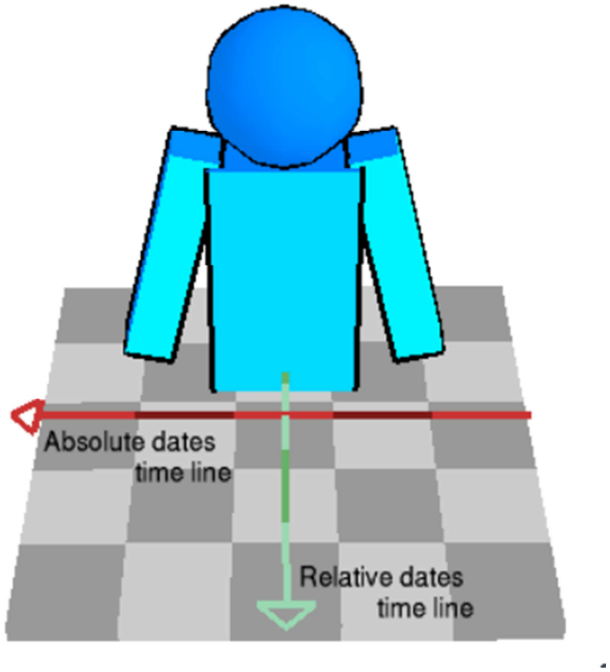


Figure 4.5 : *Représentation schématique de l'espace de signation réalisé par Lensigne [Lenseigne 05]*

Nous pouvons aussi considérer cet espace comme un cube à trois dimensions devant le signeur occupant la partie hausse de son corps (***fig***. 4.6). Le projet N3C a présenté cette illustration sous la forme d'un cube divisé en 27 cubes pour désigner des emplacements de la main dans l'espace.

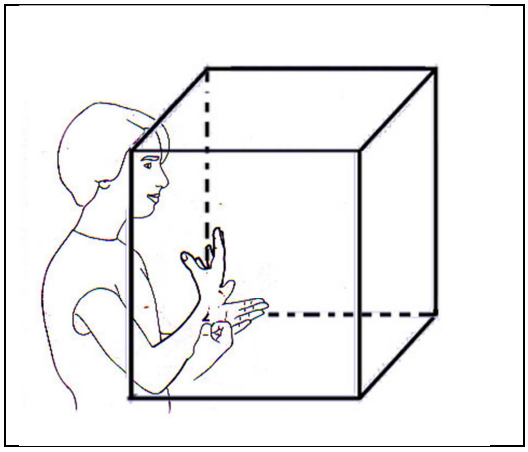


Figure 4.6 : *Représentation schématique de l'espace de signation [IVT 98]*

La langue des signes exploite cet espace d'une manière pertinente. Selon le contexte, chaque emplacement a une signification et un objectif. Il permet d'exprimer les volumes, les formes, les distances…etc.

Pour exprimer le temps d'une action par exemple, un signe est positionné en avant pour indiquer le futur et en arrière - proche des épaules - pour indiquer le passé.

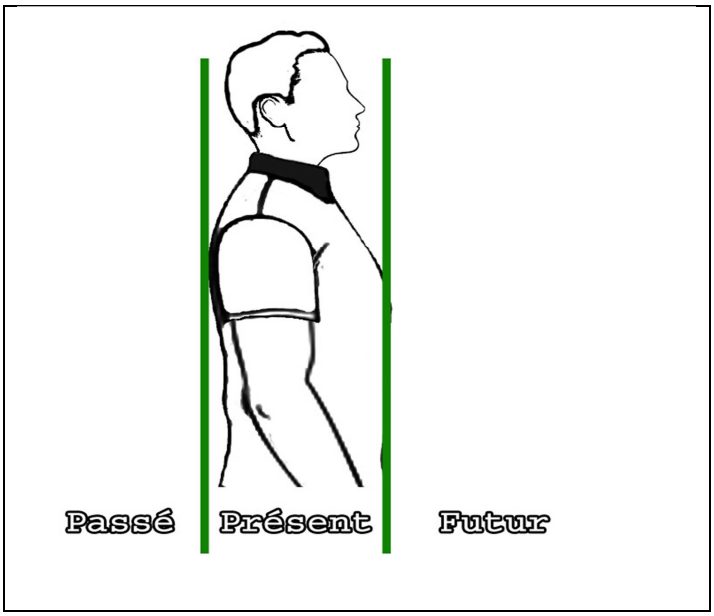


Figure 4.7 : *Schéma de temps dans la langue des signes française*

La figure 4.7 montre un exemple de gestion des emplacements de l'espace de signation en LSF. Cependant, un emplacement de la main est relatif à la personne signante. Il n'y a pas de critères stricts qui imposent un emplacement précis de la configuration de la main. De ce fait, nous proposons dans cette étude une représentation approximative des emplacements possibles, en considérant un certain niveau d'ambiguïté qui peut être causé par l'erreur.

4.6.3. Mouvement de la main

Le mouvement est l'action effectuée par la main dominante lors de la signation. Il s'agit d'une trajectoire suivie par la main dans l'espace. C'est un déplacement gestuel de la main d'un emplacement vers un autre éventuellement différent [*Cuxac 97*].

Ce critère représente une complexité majeure dans la définition d'un signe, puisque le mouvement affecte à la fois le poignet de la main et/ou les doigts de la main. Géométriquement, le déplacement d'un point A vers un point B peut se faire via plusieurs

chemins possibles. Dans un espace géométrique limité, les trajectoires de déplacements peuvent être parfois interprétées différemment entre une personne et une autre, particulièrement entre deux trajets (mouvements) similaires.

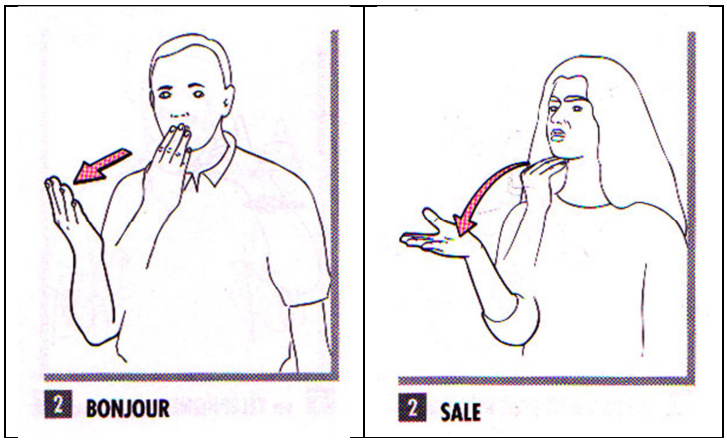


Figure 4.8 : *Exemple d'ambiguïté de mouvement entre deux signes IVT [IVT 98]*

La figure 4.8 montre un exemple de deux signes différents (BONJOUR, SALE). Une personne qui pratique la LSF pourrait facilement voir la différence entre les deux mouvements, tandis que pour quelqu'un d'autre qui ne pratique pas la LSF, il confondrait probablement les deux mouvements. Et ce bien que les paramètres de ces deux signes soient les mêmes, et qu'il n'y ait que le mouvement qui diffère légèrement.

4.6.4. Orientation de la main

L'orientation de la main joue un rôle important pour différencier certains signes. Il s'agit de l'orientation de la paume de la main ainsi que l'orientation de l'axe de la main vers les 6 sens : vers le haut, vers le bas, vers la gauche, vers la droite ainsi que vers l'extérieur du corps ou vers l'intérieur du corps (en face du corps). Il existe plusieurs signes qui se ressemblent beaucoup par la configuration de la main, l'emplacement et le mouvement. D'où l'importance de l'orientation pour distinguer entre eux.

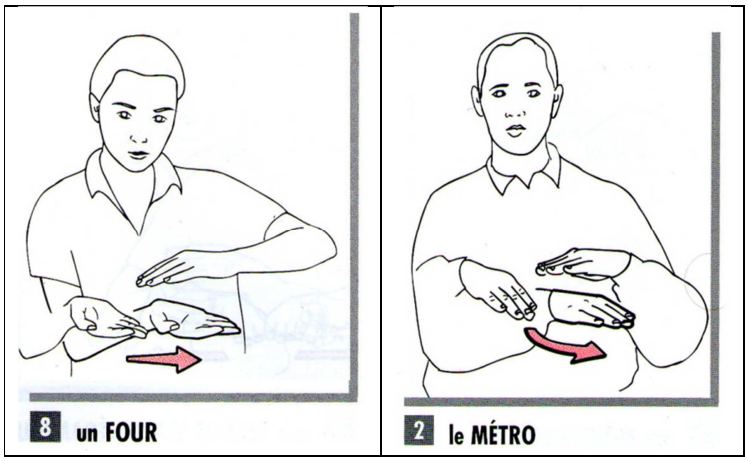


Figure 4.9 : *Orientation de la main dans deux signes semblables [IVT 98]*

La figure 4.9 montre le rôle de l'orientation de la main pour faire la différence entre deux signes semblables (FOUR et METRO). Les deux signes s'exercent de la même manière : main plate (main dominante) qui glisse vers l'extérieur du corps sous la main dominée au niveau de l'abdomen. Sauf que dans le signe FOUR l'orientation de la main dominante est vers le haut et dans le signe METRO vers le bas.

4.6.5. Expression faciale

Le dernier critère pour définir un signe comporte les expressions du visage qui permettent parfois de compléter la signification d'un signe ou de changer le sens d'un autre.

4.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la problématique liée à la modélisation informatique de la LSF Cette modélisation demande un traitement spécifique qui doit respecter certaines exigences ergonomiques. Étant donné le volume des informations à traiter, nous avons décidé de commencer le travail sur deux paramètres, puis nous en avons rajouté le troisième. Ce choix de trois paramètres nous semble suffisant pour accéder à une partie importante du vocabulaire de la LSF et apporter l'information cherchée. Il faut noter que notre travail dans son état actuel ne répond pas complètement aux théories linguistiques actuelles mais nous avions comme premier souci d'arriver à un outil fonctionnel qui soit ergonomique. Le chapitre suivant proposera une nouvelle méthode de développement pour créer un dictionnaire inversé de la LSF : du signe vers le mot.

Chapitre 5 : ANALYSE DE L'ESPACE DE REPRESENTATION ET MODELISATION DES PARAMETRES DE LA LSF

5.1. Introduction

Depuis 1960, la langue des signes a été reconnue comme une langue à double articulation [*Stokoe 60*]. Comme les langues orales(LO), la langue des signes possède des unités minimales non significatives nommées « chérème » (phonème dans les LO) qui se composent entre eux pour construire un geste signifiant nommé « gestèmes » (monèmes dans les LO, ou les mots signifiants) [*Neve 92*]. Mais dans la langue des signes, ce ne sont pas les sons qui forment les mots, ce sont les paramètres des signes. Dans les chapitres précédents, nous avions cité les cinq paramètres principaux qui permettent de définir un signe. Toutefois, dans le but de prendre en compte les contraintes ergonomiques que nous nous étions fixées au départ, nous avons voulu dans ce travail simplifier l'opération de la recherche d'un signe. En effet, nous avions remarqué que cette opération nécessite un temps considérable et demande un effort important de l'utilisateur qu'il nous faut vraisemblablement minimiser.

Le chapitre suivant présente la méthodologie que nous avons suivie pour modéliser les signes de la LSF. Cette modélisation a commencé par le travail sur deux critères : la configuration de la main et son emplacement dans l'espace. Cette décision vient à la suite d'une analyse préalable des paramètres des signes, pour accélérer la procédure de la recherche d'un signe. Ensuite, nous avons ajouté un troisième critère : le mouvement de la main, qui a amélioré les résultats de recherche par rapport à la première phase de l'expérimentation. Notre système de trois critères (59 configurations de la main, 15 emplacements et 10 mouvements) fournit une représentation conceptuelle du signe sous la forme d'un vecteur[9]. Nous rappelons ici que notre objectif est de trouver un compromis entre l'efficacité des résultats et l'ergonomie de la recherche, tout en prenant en compte les deux facteurs des IHM : la facilité et la rapidité.

[9] Nous utilisons le terme *vecteur* même s'il s'agit d'un abus de langage sachant que nous ne sommes pas dans un espace métrique, mais dans un espace pseudo-métrique.

([41],[HC],[D1])

Figure 5.1 : *A quel signe correspond cette représentation ?*

Cette représentation a permis d'installer un système de discrimination efficace des signes. Le fait de réduire les informations correspondantes d'un signe sous la forme d'un vecteur facilite les calculs des degrés de ressemblance entre les différents signes, mais en contrepartie nous risquons de créer des ambiguïtés suite à des identités dans l'espace de représentation

Dans cette étude, nous nous somme basés sur des méthodes de classification dynamique et d'apprentissage automatique [Cornuéjols-Miclet 02]. Ces méthodes ont été appliquées après la validation de notre modèle de paramétrage des signes.

5.2. Cadre conceptuel

Comme nous l'avons indiqué dans le chapitre précèdent, nous travaillons sur une base de données de 2234 signes vidéos qui constitue notre dictionnaire LSF accessible sur le web, développé par notre laboratoire (Français → LSF). La requête qui donne le signe part du thème ou d'un texte pour obtenir la vidéo du signe. Cependant, si nous voulons développer le processus inverse il faut suivre le chemin suivant:

Modèle descriptif du signe → requête sémantique → vocabulaire

Ceci implique que chaque signe doit être associé à une description des signes dans un modèle ou espace de représentation. Pour ce faire, nous avons d'abord effectué le travail de codification sur 500 signes du dictionnaire. Par la suite, nous proposons une procédure d'apprentissage basée sur les connaissances et qui s'effectuera dans le cadre d'un travail collaboratif (crowdsoursing).

Ainsi, nous avons sélectionné un sous ensemble de 500 signes qui représente les signes les plus utilisés dans la version (Français → LSF). Ce choix a été effectué suite aux données statistiques fournies par les consultations régulières de notre dictionnaire. Nous nous sommes basés sur deux critères pour la sélection de cet échantillon. Le premier est le nombre des visites,

c'est-à-dire les signes les plus visualisés et demandés par les internautes. Le deuxième critère porte sur la structure du signe lui-même. Ce sont des signes simples du vocabulaire de la LSF. Pour prendre en compte certains signes qui ne répondent pas à ces critères, mais qui complètent notre sélection, nous avons inséré ce genre de signe manuellement. Par exemple : Nous avons choisi tous les signes qui correspondent aux noms des mois de l'année même s'il existe un signe qui n'est pas classé dans la liste des fréquences.

Après la définition des éléments nécessaires pour sélectionner un signe, nous avons commencé par la conception d'une base de données qui contient l'ensemble des propriétés et des attributs essentiels pour l'indexation des signes. Le défi consiste à transformer les vidéos des signes en paramètres numériques exploitables par notre système.

Chaque signe est présenté dans la base de données sous la forme d'un vecteur qui contient la configuration de la main, son emplacement dans l'espace et le mouvement accompagné s'il existe, sinon, nous lui attribuons une valeur égale à 0 correspondant à l'absence du mouvement. En parallèle, notre système est supporté par une deuxième base de données qui sert à récupérer les retours des utilisateurs et à enregistrer les scénarios effectués lors de la recherche d'un signe (Chapitre 6).

5.3. Modélisation informatique

5.3.1. Configuration de la main

Comme nous l'avons cité au chapitre 4, nous n'avons pas de règles grammaticales pour définir un nombre exact de configurations de la main.

Notre système fonctionne avec 59 configurations de la main qui nous semblent suffisantes pour accéder à l'ensemble des signes. Ce choix pourra être modifié en fonction des données expérimentales que nous obtiendrons en fonction de l'usage.

Nous avons commencé par les 39 configurations à grande iconicité [*Cuxac 02.c*]. Puis nous avons rajouté d'autres configurations au fur et à mesure des confusions que nous avons rencontrées dans la modélisation des vidéos LSF. En plus nous avons inséré quelques configurations de la dactylologie française comme la configuration W, F et T. Certaines configurations sont très utilisées par rapport aux autres, ce qui nous a poussé à détailler plus le choix des configurations (***fig.*** 5.2).



Figure 5.2 : *59 configurations de la main utilisées dans notre protocole*

Toutes les configurations sont projetées sur un plan frontal de la main sauf quelques-unes qui sont affichées latéralement pour montrer suffisamment la structure de la main en détail.

Ce critère (configuration de la main) est paramétré de la manière suivante :

Liste des attributs :

- ***IdConfiguration*** : Identifiant de la configuration de la main
- ***Configuration*** : Nom ou description de la configuration
- ***IdGroupe*** : Classe correspondante
- ***Image*** : Lien vers l'image correspondante



Figure 5.3 : *Description détaillée de la table des configurations*

Notons que pendant la codification des signes, nous n'avons pas pris en compte la variation des doigts (les articulations) pendant le signe. Nous avons enregistré l'état initial du geste et l'état final si ce dernier change de configuration. Dans le signe LA-FOULE-ARRIVE-DE-PARTOUT (***fig.*** 5.4) les doigts vibrent pendant que les deux mains descendent du niveau de la tête vers le torse.



Figure 5.4 : *Vibration des doigts dans le signe LA-FOULE-ARRIVE-DE-PARTOUT [IVT 98]*

La configuration de la main présente le critère le plus discriminatif dans la langue des signes. Pour cela, une analyse approfondie de ce critère est primordiale pour une bonne indexation des signes dans le dictionnaire.

Nous avons commencé par la création des matrices de dissimilarité[10] (dissemblance) entre les configurations afin d'établir un système de démarrage pour la classification (***fig.*** 5.5). Ces matrices ont été remplies par des pratiquants[11] de la LSF avec des valeurs comprises entre 0 et 10 dans le cadre d'un projet de master [Moreau 06]. Ces valeurs présentent le degré de dissemblance entre les configurations. Si la configuration est la même, le degré de dissemblance est égal à 0, si les configurations sont totalement différentes, le degré de dissemblance est égal à 10, sinon le degré de dissemblance prend une valeur entre 0 et 10 selon la dissimilarité (***fig.*** 5.6). Nous avons utilisé une partie de ces matrices dans le but d'initialiser les données de notre plateforme. Ainsi l'analyse de ces matrices a fait apparaitre notre première théorie sur l'ambiguïté de certaines configurations de la main. Ce paramètre de dissimilarité sera ajusté dynamiquement par la suite en fonction des données expérimentales comme coefficient d'apprentissage. En particulier par rapport à N3C nous avons modifié quelques configurations de la main en supprimant quelques redondances en ajoutant des nouveaux éléments pour enlever les ambiguïtés. Ensuite les matrices de dissimilarité entre les configurations ont été remplacées par des résultats des données expérimentales.

[10] Nous ne parlerons pas de distance pour éviter des conflits avec la notion de distance métrique en mathématiques
[11] C. Moreau, C. Tranchant, C. Robalo, N. Zouba

ConfiG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0																			
2	3	0																		
3	1	3	0																	
4	2	3	2	0																
5	2	3	2	2	0															
6	5	5	5	5	5	0														
7	6	5	6	4	5	4	0													
8	9	6	9	9	9	6	7	0												
9	5	5	3	3	3	5	3	5	0											
10	6	5	5	5	6	4	3	6	3	0										
11	8	6	8	8	8	8	4	3	5	6	0									
12	6	6	6	6	6	6	3	3	3	4	7	0								
13	5	6	5	5	5	6	7	5	3	3	4	6	0							
14	5	6	6	6	6	6	7	4	3	3	3	6	2	0						
15	2	2	2	2	2	4	5	8	6	5	4	7	5	7	0					
16	9	9	9	9	9	3	7	6	6	7	9	4	9	9	9	0				
17	10	10	10	10	10	7	9	7	8	9	10	7	9	9	10	1	0			
18	9	9	9	9	9	5	4	9	5	9	4	6	9	9	10	2	1	0		
19	9	9	9	8	8	3	4	6	5	5	6	4	7	8	8	2	4	4	0	
20	10	10	10	10	10	1	9	10	9	1	9	8	4	4	9	4	4	3	6	0

Confi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0																			
2	2	0																		
3	1	2	0																	
4	2	3	1	0																
5	2	3	1	1	0															
6	5	4	5	5	5	0														
7	5	4	5	5	5	2	0													
8	5	4	5	5	5	1	3	0												
9	5	5	5	3	3	3	1	3	0											
10	5	3	5	5	5	2	3	2	3	0										
11	5	3	5	5	5	3	1	3	1	3	0									
12	5	5	5	5	5	1	3	2	3	2	3	0								
13	3	3	3	3	3	8	4	8	4	2	4	5	0							
14	3	3	3	3	3	8	4	8	4	1	4	5	1	0						
15	3	3	3	3	3	6	3	6	3	3	3	6	2	2	0					
16	9	9	9	9	9	3	8	4	8	9	8	3	10	10	10	0				
17	9	9	9	9	9	3	8	3	8	8	8	3	9	9	9	3	0			
18	5	7	5	5	5	8	3	8	3	3	3	5	9	9	9	4	3	0		
19	9	9	9	9	9	3	5	4	5	5	5	3	9	9	9	2	5	5	0	
20	5	5	5	5	5	10	8	10	9	3	9	7	2	2	3	8	7	5	8	0

Co	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0																			
2	4	0																		
3	1	3	0																	
4	3	4	1	0																
5	1	3	1	1	0															
6	6	7	6	6	5	0														
7	6	7	6	4	6	2	0													
8	7	6	7	7	7	6	6	0												
9	7	6	7	7	7	6	1	4	0											
10	6	7	6	6	6	2	4	3	4	0										
11	7	6	7	7	7	6	2	2	3	4	0									
12	6	7	6	6	7	1	5	3	2	2	4	0								
13	7	6	7	7	7	7	7	5	4	4	5	5	0							
14	7	6	7	7	8	7	7	3	5	3	5	5	1	0						
15	5	4	5	2	2	7	6	6	4	6	3	6	2	3	0					
16	7	7	7	7	7	6	5	6	5	6	6	4	4	6	6	0				
17	7	7	7	7	8	7	6	7	6	6	6	5	6	6	6	2	0			
18	7	7	7	7	8	7	5	7	6	6	6	5	6	6	6	1	1	0		
19	7	7	7	7	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	4	4	6	0		
20	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	4	6	6	4	2	5	5	0

Confi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0																			
2	3	0																		
3	1	3	0																	
4	2	3	2	0																
5	**1**	**3**	**2**	**3**	**0**															
6	5	5	5	5	**5**	0														
7	6	5	6	4	**6**	4	0													
8	9	6	9	9	**9**	6	7	0												
9	**8**	**8**	**8**	**3**	**7**	**3**	**2**	**7**	**0**											
10	6	5	5	5	**7**	4	3	6	**4**	0										
11	8	6	8	8	**8**	8	4	3	**3**	6	0									
12	6	6	6	6	**6**	6	3	3	**2**	4	7	0								
13	**5**	**7**	**5**	**5**	**5**	**7**	**6**	**8**	**7**	**2**	**5**	**7**	**0**							
14	**5**	**7**	**5**	**5**	**5**	**7**	**6**	**7**	**7**	**1**	**3**	**6**	**1**	**0**						
15	2	2	2	2	**2**	4	5	8	**7**	5	4	7	**1**	**2**	0					
16	9	9	9	9	**9**	3	7	6	**6**	7	9	4	**9**	**8**	9	0				
17	10	10	10	10	**10**	7	9	7	**8**	9	10	7	**10**	**10**	10	1	0			
18	9	9	9	9	**9**	5	4	9	**6**	9	4	6	**9**	**9**	10	2	1	0		
19	**9**	**10**	**9**	**9**	**9**	**5**	**7**	**8**	**8**	**9**	**9**	**5**	**10**	**10**	**9**	**2**	**5**	**6**	**0**	
20	10	10	10	10	**10**	1	9	10	**8**	1	9	8	**4**	**2**	9	4	4	3	**9**	0

Figure 5.5 : *Extrait des matrices de dissemblance des configurations [N3C]*

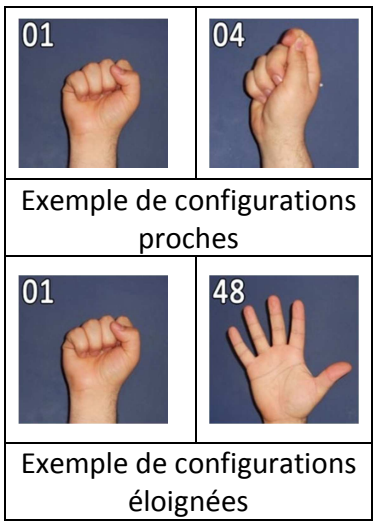


Figure 5.6 : *Exemples de configurations proches et éloignées*

L’analyse initiale des matrices nous a montré que :

La plupart des valeurs saisies dans les matrices sont homogènes (les valeurs saisies sont très proches dans toutes les matrices).

Certaines valeurs des matrices présentent des différences de saisie par rapport aux autres (la dispersion autour de la moyenne est grande).

Nous avons établi une matrice d’écart-type pour extraire les éléments d’anomalie et détecter les configurations qui peuvent déclencher plus d’ambiguïté. Théoriquement ce sont des valeurs où l’écart-type est très élevé.

Pour résoudre cette problématique, nous avons travaillé sur la valeur moyenne des matrices. Elle permet d’exploiter les valeurs qualitatives (subjectives) saisies par les pratiquants de la LSF d’une manière approximative, ce qui nous a donné l’idée d’introduire la notion des classes dans les configurations.

Nous remarquons dans la figure 5.7 (matrice des moyennes) qu’il y a des degrés de ressemblance entre un ensemble de configurations. Cette observation favorise l’application d’un protocole de 'Clustering' capable de regrouper les configurations ayant les mêmes caractéristiques. Dans la même figure les configurations sont ordonnées par proximité ce qui explique la présence des cases jaunes (valeurs comprises entre 1 et 3) autour de la diagonale.

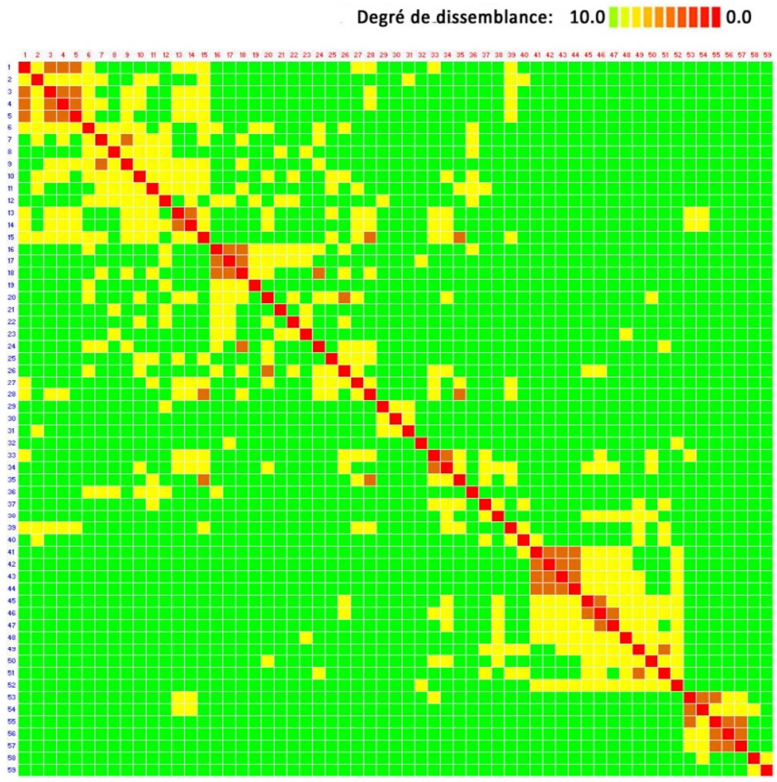


Figure 5.7 : *Matrice de dissimilarité des configurations qui utilise une série de couleurs à partir des valeurs qualitatives.*

Cette matrice nous a permis d'établir des classes de configurations. Une classe de configuration correspond à un groupe de configurations qui répond aux critères suivants :

- Le degré maximal de dissemblance ne dépasse pas la valeur 2 (l'aspect visuel est très proche)
- Une classe contient au plus 6 configurations (contrainte ergonomique)
- Les classes sont disjointes (mais ceci n'est pas si évident)

En appliquant ces critères, nous avons construit 12 classes de configurations de la main. Nous nous somme basés sur les données initiales des matrices de dissimilarité. L'objectif principal des classes est de rattraper les confusions possibles des utilisateurs lors de la sélection d'une configuration donnée (***fig.*** 5.8).

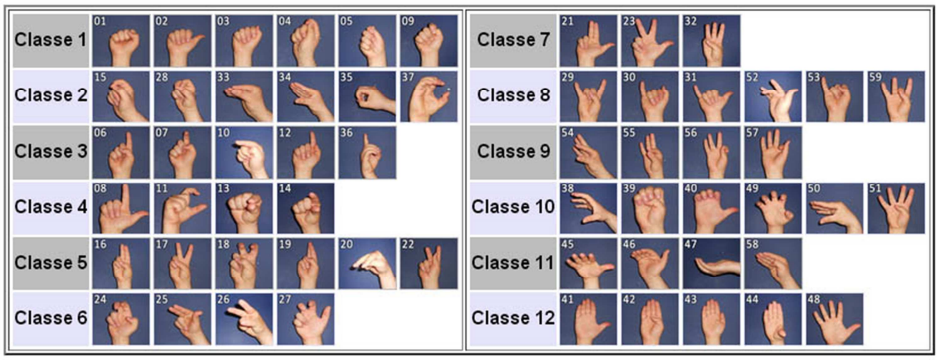


Figure 5.8 : *Classes des configurations de la main selon le degré de ressemblance.*

5.3.2. Emplacement dans l'espace

Pour développer le deuxième critère de description du signe :l'emplacement. Nous avons commencé par un espace de signation sous la forme d'un cube 3D contenant 27 emplacements. Cette perception a été inspirée du travail effectué dans le projet N3C [Moreau 06]. Nous avons gardé les dimensions de l'espace de signation cité dans le dictionnaire d'I.V.T (International Visual Theatre) [*IVT 98*] qui délimite cet espace entre la tête et la ceinture verticalement et les bras étendus jusqu'au coude latéralement. Notons cependant qu'il peut y avoir quelques exceptions qui ne respectent pas ce cadrage et où les mains peuvent dépasser cette limitation pour désigner un sens donné, comme le cas du signe GENOU (***fig.*** 5.9). Dans ce cas, nous considérons l'emplacement le plus proche dans notre modèle à l'emplacement indiqué dans le signe.

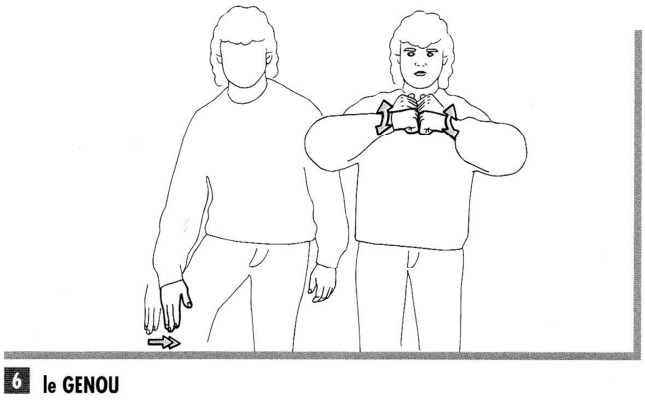


Figure 5.9 : *La main est mise sur le genou en dehors de l'espace de signation habituel [IVT 98]*

Par ailleurs, il ne faut pas oublier que cette définition de l'espace de représentation est dans un repère absolu, mais que les signes peuvent être considérer dans un espace relatif sans changement de signification.

La figure 5.10 montre la vue frontale des positions verticales du cube. Les numéros des cubes présentent les coordonnées sur le plan frontal. Nous avons trois colonnes : la colonne du milieu indique les positions (Tête, Torse, Ventre), et les colonnes latérales indiquent les positions des mains gauche et droite.

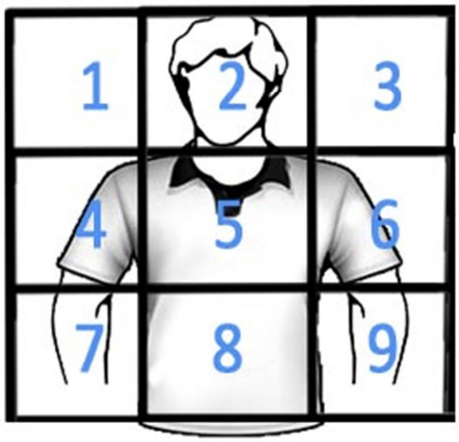


Figure 5.10 : *Positions verticales de la main sur le plan frontal* [Moreau 06]

Chaque position sur le plan frontal, est liée à trois positions horizontales. Il s'agit d'un plan qui présente la distance entre la main et le corps du signeur. Sur la figure 5.11, nous voyons les neufs coordonnées de la position horizontale.

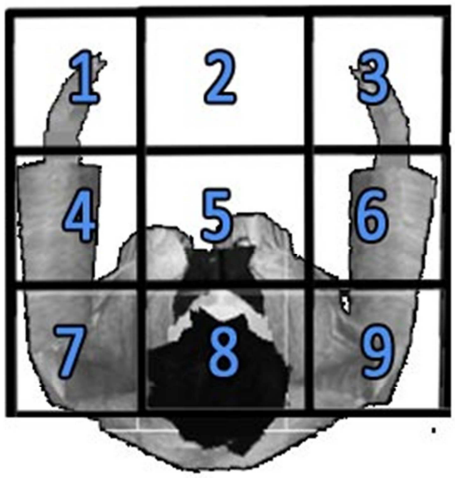


Figure 5.11 : *Positions horizontales de la main sur le plan de la distance avec le corps* [Moreau 06]

L'emplacement est paramétré dans la base de données de la manière suivante :

Liste des attributs :

- ***IdPosition*** : Identifiant de l'emplacement
- ***Position*** : Description de l'emplacement
- ***IdGroupe*** : Groupe correspondant à l'emplacement

Nous avons enregistré les coordonnées de chaque cube de l'espace de représentation, ainsi que son groupe par rapport à la distance avec le corps.

Le tableau 5.1 représente la liste des emplacements qui initialisent notre espace de signation.

IdPosition	Position	IdGroupe
13	Up-Right-Far	1
16	Up-Right-Near	1
19	Up-Right-Contact	1
22	Up-Middle-Far	1
25	Up-Middle-Near	1
28	Up-Middle-Contact	1
31	Up-Left-Far	1
34	Up-Left-Near	1
37	Up-Left-Contact	1
43	Center-Right-Far	2
46	Center-Right-Near	2
49	Center-Right-Contact	2
52	Center-Middle-Far	2
55	Center-Middle-Near	2
58	Center-Middle-Contact	2
61	Center-Left-Far	2
64	Center-Left-Near	2
67	Center-Left-Contact	2
73	Down-Right-Far	3
76	Down-Right-Near	3
79	Down-Roght-Contact	3
82	Down-Middle-Far	3
85	Down-Middle-Near	3
88	Down-Middle-Contact	3
91	Down-Left-Far	3
94	Down-Left-Near	3
97	Down-Left-Contact	3

Tableau 5.1 : *Structure de la Table des emplacements dans la base de données*

Comme nous l'avons déjà mentionné, notre cube de positions est divisé en 27 cubes où chacun présente un emplacement dans l'espace (***fig.*** 5.12). Ceci est équivalant à un échantillonnage de l'espace discret qui, dans notre cas, sera représenté par un cube de 3x3x3 unités.

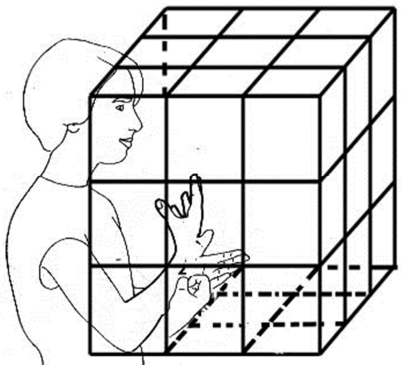


Figure 5.12 : *Espace de signation sous la forme d'un cube*

L'idée est de construire une géométrie spatiale basée sur trois niveaux horizontaux et trois niveaux verticaux. Le calcul des distances se fait par le principe de distance discrète 3D 6 connexes (faces adjacentes des cubes). Nous considérons la distance entre deux cubes adjacents égale à 1 (***fig.*** 5.13).

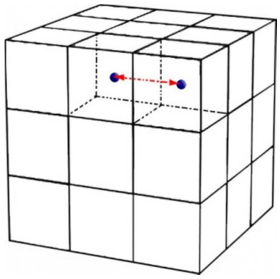


Figure 5.13 : *Distance entre deux cubes adjacents*

La matrice correspondante à ce modèle d'emplacement est présentée dans la figure 5.14. Nous voyons sur cette matrice, la division des trois niveaux de notre cube, nous constatons aussi que chaque division est composée de trois classes d'emplacements.

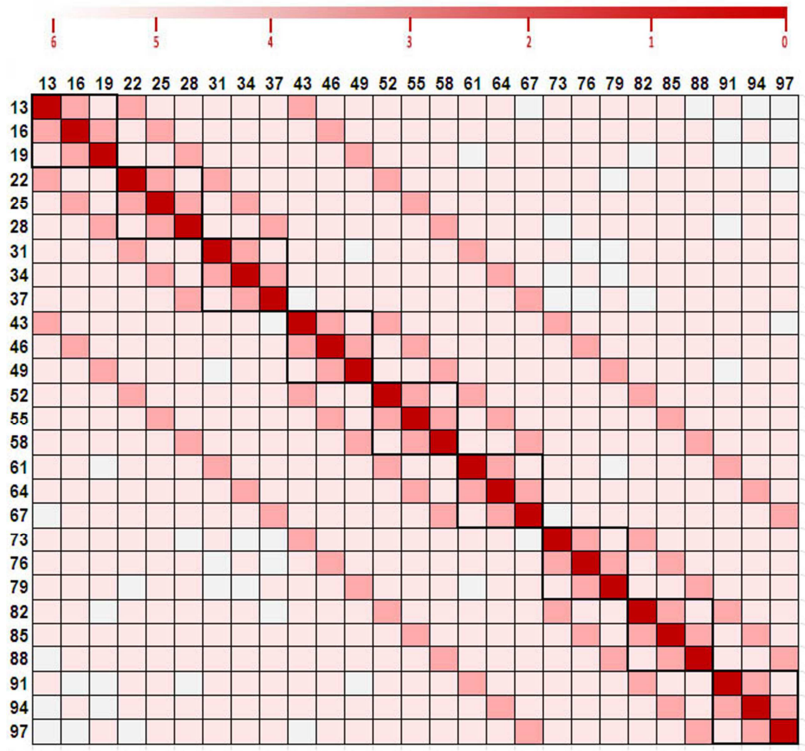


Figure 5.14 : *Matrice de distance des emplacements (les valeurs correspondent aux noms des cubes de notre modèle. Voir les figures 5.10 et 5.11)*

Nous avons utilisé cette matrice comme des données d'initialisation des emplacements, dont l'objectif principal est de valider notre choix durant les expérimentations. Nous montrons par la suite que ce modèle peut être amélioré.

5.3.3. Expérimentation 1 : Validation des critères

Après avoir défini ces deux critères (configuration + emplacement), nous nous sommes posés des questions sur leur efficacité dans la recherche d'un signe de LSF. Pour répondre à notre question : ***Est-il suffisant de trouver un signe en se basant sur deux critères (Configuration et emplacement) ?*** Nous avons effectué une expérimentation sur le nombre des critères. Le but de cette expérimentation est de montrer que la procédure pour trouver un signe quelconque ne demande pas tant de temps et d'effort. Pour cela, nous avons accepté de raccourcir le nombre des critères des signes en deux critères principaux : configuration et emplacement.

5.3.3.1. Méthode et résultats :

Cette expérience a été réalisée par 5 participants[12] ayant des niveaux différents en LSF. Chacun d'entre eux a effectué 40 recherches parmi 500 signes. Les signes testés ont été générés aléatoirement pour toutes les procédures de recherche. La figure 5.15 montre le protocole suivi lors de cette expérimentation.

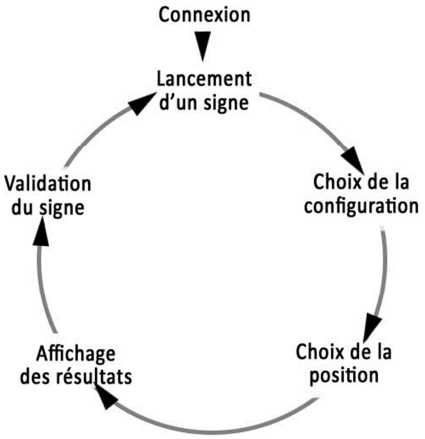


Figure 5.15 : *Schéma explicatif des étapes de l'expérimentation 1*

Rappelons que nous nous attendions à obtenir des résultats acceptables à partir de deux critères. C'est-à-dire, un taux de réussite très élevé pour les signes recherchés. Nous nous attendions aussi à la validation de notre modèle de choix des emplacements. Pour cela, en plus des résultats, nous avons enregistré aussi l'ordre de l'apparition du bon signe de chaque expérimentation dans la liste des résultats.

Durant cette expérience, nous avons comparé les critères saisis par les participants avec les critères des signes de notre base de données en se basant sur la matrice de dissimilarité des configurations et la matrice de distance des emplacements. Nous avons calculé le degré de dissemblance global entre le codage du signe et le codage des participants par l'équation suivante :

$$Dis(Signe, Codage) = Dis\left(C_{Ref}, C_{User}\right) + Dis(P_{Ref}, P_{User})$$

[12] Je remercie les étudiants de master Handi pour avoir collaboré à cette étude expérimentale.

Avec :

$Dis(Signe, Codage)$: Dissimilarité globale

$Dis(C_{Ref}, C_{User})$: Dissimilarité des deux configurations

$Dis(P_{Ref}, P_{User})$: Distance entre deux emplacements

C'est une méthode simple qui permet de donner une idée sur la validité de nos hypothèses avant de lancer la recherche approfondie. C'est une comparaison primaire des deux critères : configuration et emplacement.

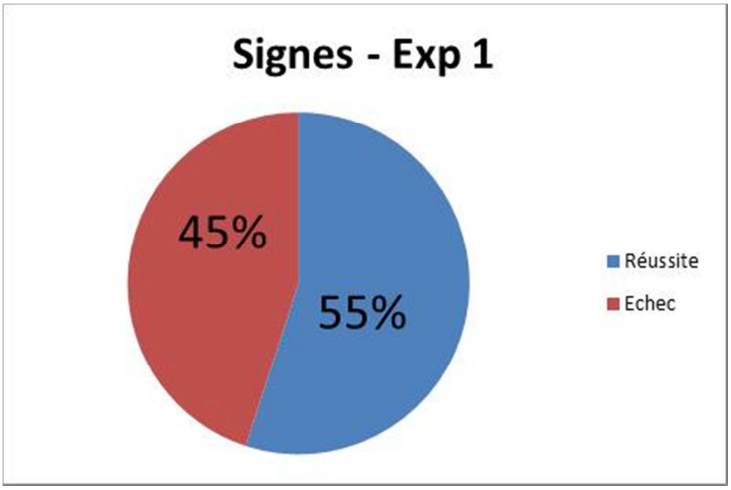


Figure 5.16 : *Pourcentage de réussite sur l'expérience 1*

Comme l'indique la figure 5.16, nous observons un taux de réussite qui dépasse la moyenne sur l'ensemble des recherches. Durant cette expérimentation, nous avons fixé la valeur 0,2 comme une valeur maximale acceptable de dissemblance entre deux codages des signes.

Le tableau 5.2 donne les détails de cette expérimentation. Nous avons 5 participants (P1, P2, P3, P4, et P5). Chaque participant a effectué 40 observations. Nous avons enregistré le nombre des réponses exactes et le nombre des réponses proches de tous les participants. Ensuite, nous avons calculé le taux de réussite globale de chaque participant. Ce calcul se fait par une conversion simple des valeurs de dissemblance en pourcentage. Ainsi nous avons :

$$0 \leq Dis(Signe, Codage) \leq 1$$

- Si la valeur de $Dis(Signe, Codage)$ est égale 0, alors le taux de réussite selon cette valeur est de 100 %. C'est-à-dire que le participant affecte au signe le même codage que celui qui lui a été affecté dans la base de données.
- Si la valeur de $Dis(Signe, Codage)$ est égale à 1 cela indique que le codage du participant est totalement diffèrent du signe de référence et bien évidement nous avons un taux de réussite qui présente 0 %.

Selon le tableau, les participants P2 et P4 ont obtenu un taux de réussite très élevé (90.12% et 92.45%). Les participants P1, P3 et P5 ont réalisé un taux de réussite moyen (79.45%, 79.62% et 83.37%). Ainsi, le tableau affiche un nombre de 24 réponses exactes, et 86 de réponses proches sur un total de 200 observations. Les détails de ce tableau est présentés dans l'annexe J.

Participant	Nombre d'observations	Réponse exacte	Réponse proche	Taux %
P1	40	2	17	79,45
P2	40	6	22	90,12
P3	40	5	11	79,62
P4	40	7	24	92,45
P5	40	4	12	83,37
Total	**200**	**24**	**86**	**85,00**

Tableau 5.2 : *Résultats statistiques de l'expérimentation 1*

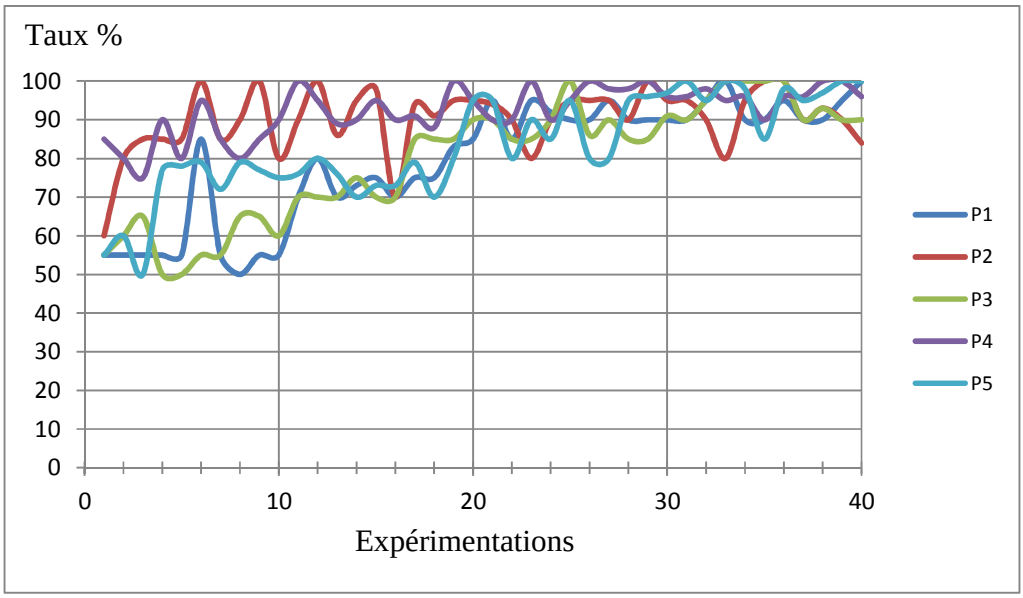


Figure 5.17 : *Courbes de taux de réussite des cinq participants*

Les courbes de la figure 5.17 représentent la distribution des résultats de chaque participant. Nous observons une légère progression pour les participants P1, P3 et P5 tandis que les courbes de P2 et P4 sont restées stables (entre 90% et 100%). Ceci est expliqué par un phénomène d'apprentissage du participant lors de l'utilisation de l'interface qui améliore les résultats d'une manière considérable.

Pour bien évaluer cette expérimentation, nous avons analysé le taux de réussite de chaque critère dans toutes les observations. Ces analyses nous ont permis de détecter les facteurs d'échec dans cette expérimentation.

Nous observons dans la figure 5.18 que le taux de réussite des configurations est plus élevé par rapport au taux de réussite des emplacements. Sur le total des sélections de la configuration, nous avons plus de la moitié des observations qui ont enregistré le choix exacte de la configuration dans le codage. La valeur de 44,5 % est partagée entre des sélections proches et des sélections éloignées. D'autre part, l'emplacement de la main a enregistré des mauvais résultats lors de la sélection : seulement 34 sélections exactes sur 200 observations, ce qui a mis en question notre deuxième prédiction sur le modèle de choix des emplacements.

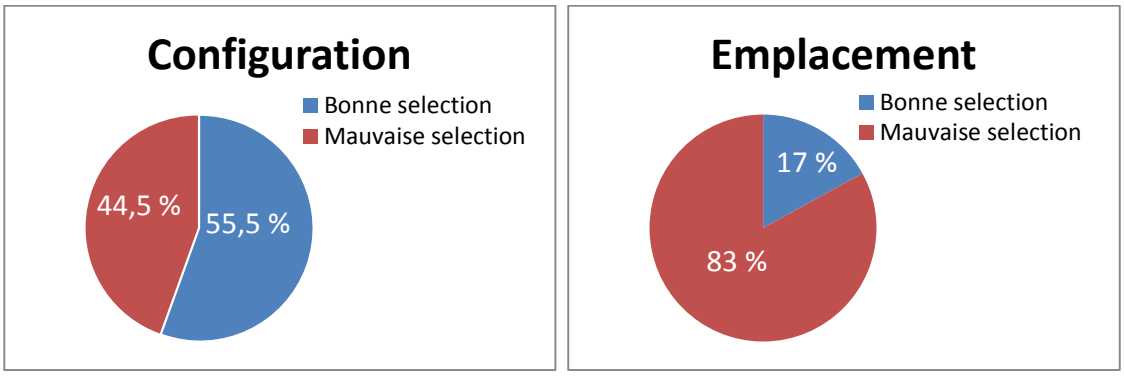


Figure 5.18 : *Pourcentage des critères sélectionnés dans l'expérimentation 1. A gauche (configuration) et à droite (position)*

5.3.3.2. Interprétation des résultats et discussion :

Selon les résultats obtenus durant cette expérimentation, nous avons pu tirer un ensemble de remarques et d'explications. Globalement, la valeur de 85 % de réussite peut être considérée comme encourageante pour une première expérimentation, surtout pour les participants P2 et P4 qui ont un bon niveau en langue des Signes. Nous rappelons aussi que nous avons enregistré l'ordre d'apparition des bons signes sur l'écran des participants. La comparaison entre les deux informations (taux de réussite et classement des signes) a montré que le pourcentage de réussite n'est pas un facteur suffisant pour accepter les résultats.

Pourquoi ? Lors du calcul des taux de réussite, nous avons remarqué que le nombre des signes qui répondent aux critères des participants est très élevé, ce qui rend la procédure du filtrage très difficile. La liste des résultats est affichée en ordre décroissant du taux, mais sa taille devient très grande si nous augmentons la marge d'erreur.

D'autre part, nous avons remarqué aussi que le modèle de choix des emplacements sous la forme d'un cube 3D pose certaines difficultés pour les utilisateurs en influençant légèrement les résultats.

Rappelons que nous nous attendions à ce que les deux critères (configuration de la main et son emplacement dans l'espace) soient suffisants pour trouver un signe donné. Les moyennes des taux de réussite confirment cette hypothèse avec une base de données limitée. Cependant, si nous décidons d'augmenter la taille de notre base de données et d'enrichir notre vocabulaire par des nouveaux signes, nous nous trouverons face à un espace très condensé et des résultats variés.

Contrairement à notre hypothèse de départ, un signe ne peut être retrouvé par deux critères. Sachant que nous sommes dans un système qualitatif, où les configurations de la main présentent des ambigüités dans la vision et considérant cette spécificité, la langue des signes nous oblige à rajouter plus d'éléments de discrimination ainsi que l'établissement d'un nouveau modèle de choix d'emplacements.

Afin de vérifier ces nouvelles hypothèses, une seconde expérience a été mise en place avec un environnement équipé par des nouveaux éléments et des nouvelles méthodes de calcul.

5.3.3.3. Mise à jour du système :

Suite aux résultats de cette expérimentation, nous avons modifié la représentation des emplacements sous la forme d'un cube 3D par une autre représentation plus simple et plus claire. Elle est basée toujours sur la définition du dictionnaire d'I.V.T [*IVT 98*]. Nous avons gardé les dimensions de l'espace de signation cité dans le dictionnaire qui délimite cet espace entre la tête et la ceinture verticalement et les bras étendus jusqu'au coude latéralement. Le modèle des emplacements dans IVT propose une division détaillée de l'espace de signation. Mais nous avons jugé qu'elle ne répondait pas à nos contraintes ergonomiques d'utilisation, surtout pour les personnes débutantes en LSF. Ce dernier propose une quinzaine d'emplacements sur le corps du signeur, dont huit emplacements sur le visage (le front, les yeux, les oreilles, le nez, la pommette, la bouche et le menton). Il y a aussi des emplacements sur le cou et le torse qui sont divisés aussi en trois emplacements. Ajoutons à cela, des emplacements sur le ventre et trois autres emplacements sur la main. Le nouveau modèle contient cinq emplacements sur le plan

frontal, dû à un fusionnement de certains emplacements pour faciliter le choix et enlever les ambiguïtés d'interprétation. Ces derniers sont présentés sur un plan vertical parallèle au torse, et sont constitués par les éléments suivants : Tête, Torse, Ventre, Main droite et Main gauche (***fig.*** 5.19).

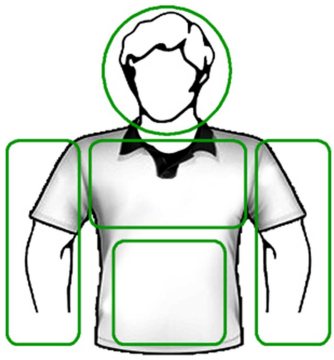


Figure 5.19 : *Cinq emplacements de la main sur le plan frontal*

Ensuite nous avons ajouté un critère représentant l'éloignement ou la distance avec le corps. Pour cela, nous avons étudié l'état de la main par rapport au corps et nous avons constaté qu'il y a trois emplacements possibles. La main peut être en contact avec le corps, sans contact et proche, ou sans contact et loin du corps. La figure 5.20 présente les trois emplacements sur le plan horizontal.

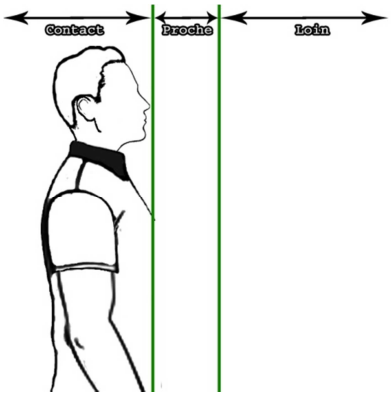


Figure 5.20 : *Trois emplacements de la main sur le plan horizontal (latéral)*

Au total, nous travaillons sur quinze emplacements possibles (frontaux et horizontaux). Ce nombre nous semble répondre au mieux aux exigences que nous nous sommes fixés concernant : l'ergonomie de l'interface et la puissance pour différencier les signes.

Le tableau 5.3 présente la nouvelle structure de l'entité position dans notre base de données comprenant les quinze emplacements dans l'espace de signation regroupés par la position verticale. Chaque position verticale (Tête, Torse, Abdomen, Droite, Gauche) a trois possibilités (Contact, Proche, Loin).

IdPosition	Position	Description
HC	Head-Contact	Contact avec la tête
HN	Head-Near	Proche de la tête
HF	Head-Far	Loin de la tête
TC	Torso-Contact	Contact avec le torse
TN	Torso -Near	Proche du torse
TF	Torso -Far	Loin du torse
AC	Abdomen-Contact	Contact avec l'abdomen
AN	Abdomen -Near	Proche de l'abdomen
AF	Abdomen -Far	Loin de l'abdomen
RC	Right-Contact	Contact avec la main droite
RN	Right -Near	Proche de la main droite
RF	Right -Far	Loin de la main droite
LC	Left-Contact	Contact avec la main gauche
LN	Left -Near	Proche de la main gauche
LF	Left –Far	Loin de la main gauche

Tableau 5.3 : *Structure de la Table des emplacements dans la base de données*

De la même manière nous avons créé une matrice de distances qui correspond au nouveau modèle des emplacements (fig 5.21).

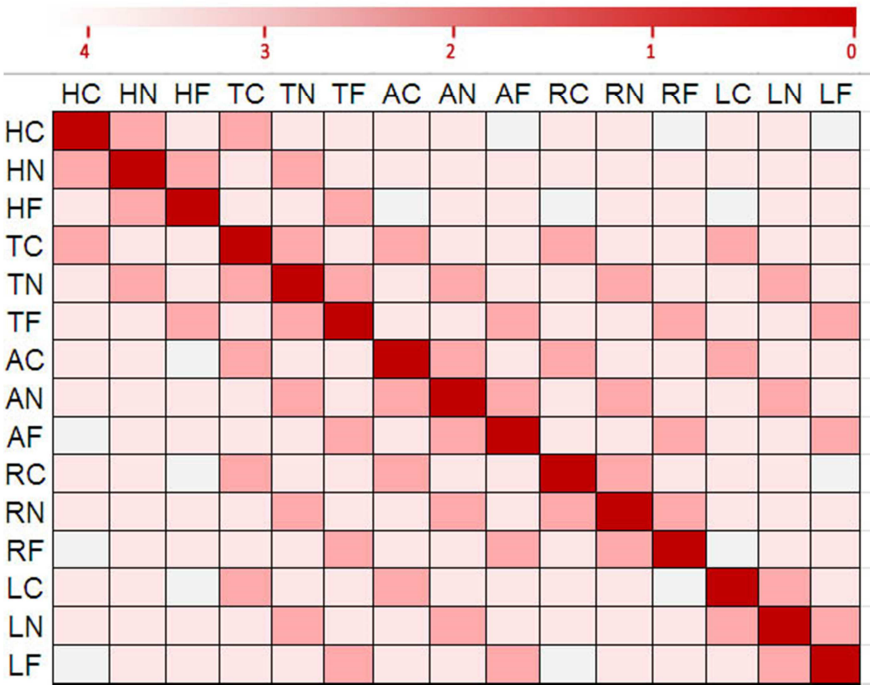


Figure 5.21 : *Matrice de distances des emplacements de la main*

5.3.4. Mouvement de la main

La plupart des signes effectuent des trajectoires dans l'espace de signation. D'où l'importance de ce critère pour la définition d'un signe, c'est ce que nous appelons : le mouvement de la main. Celui-ci est réalisé par les doigts et/ou la/les mains. Ainsi, dans l'espace de signation, un signe peut se faire avec un mouvement simple (la main se déplace de droite à gauche sur un axe horizontal) ou un mouvement complexe (le même mouvement précédent avec soit la fermeture de certains doigts, soit la rotation du poignet, soit la vibration…).

La modélisation du mouvement de la main, que nous avons intégrée ultérieurement, a commencé par deux types de mouvements : mouvement Droite et mouvement Rotation. L'analyse préalable des signes nous a montré qu'il faut détailler encore plus ce mouvement pour qu'il devienne plus discriminatif au niveau des résultats. Pour cela, nous avons dérivé 4 mouvements du mouvement Droite. Ce sont les mouvements : Droite, Itération, Séparation et Union. De même, nous avons dérivé 3 autres mouvements du mouvement Rotation : Ce sont les mouvements : Rotation, Courbe et Cercle. Deux mouvements ont été rajoutés par la suite : le mouvement Onde et le mouvement Carré.

Certains signes nécessitent le mouvement de deux mains, soit en même temps soit en alternance (***fig.*** 5.22). Durant cette étude, nous nous sommes concentrés sur le mouvement de la main dominante du 'signeur'. Celle-ci correspond à la main droite pour les personnes droitières et à la main gauche pour les gauchères.



Figure 5.22 : *Signe CAFE (Un signe qui s'effectue avec deux mains en mouvement de rotation)*

Cette problématique de la main dominante et la main dominée a été résolue par le critère des mouvements. Nous avons sélectionné 10 mouvements de la main regroupés dans deux familles : les mouvements réalisés avec une seule main et les mouvements réalisés avec deux mains (***fig.*** 5.23).

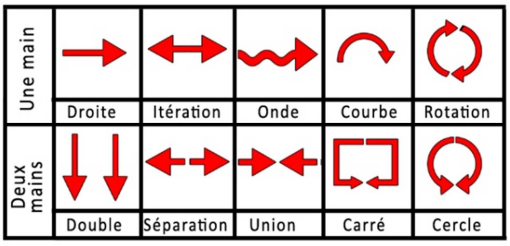


Figure 5.23 : *Types de mouvements*

Signalant que cette division n'est pas toujours discriminative car il est facile de trouver des signes qui se réalisent avec deux mains, mais qui utilisent un mouvement d'une seule main. Le signe ADRESSE (***fig.*** 5.24) présente un exemple de ce cas, où les deux mains effectuent un mouvement de rotation simultanément devant le torse.

Pour surmonter cet obstacle, nous avons rajouté un critère supplémentaire pour indiquer le nombre des mains utilisées dans le signe.

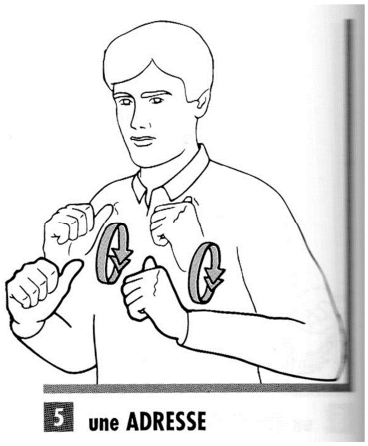


Figure 5.24 : *Signe ADRESSE effectué avec deux mains*

Il y a d'autres mouvements que nous avons décidés de ne pas traiter à ce stade à cause de l'ambiguïté visible avec d'autres mouvements. Par exemple, le mouvement Spiral avec le mouvement Rotation ou le mouvement en 'Z' avec le mouvement Itération.

Étant donné qu'il y a des signes qui s'effectuent sans mouvement, nous avons rajouté un autre type de mouvement qui indique l'absence de ce dernier. En conséquence, nous avons au total 11 types de mouvements de la main dans notre base de données.

Le mouvement est paramétré dans la base de données de la manière suivante :

- ***IdMove*** : Identifiant du mouvement
- ***Move*** : Description du mouvement

IdMove	**Move**
D1	Droite
C0	Courbe
OD	Onde
IT	Itération
R1	Rotation
D2	Double
SP	Séparation
UN	Union
R2	Cercle
C4	Carre
00	Sans mouvement

Tableau 5.4 : *Structure de la Table des mouvements dans la base de données*

Le mouvement de la main est le critère qui donne le dynamisme à la langue des signes. Comme dans la langue vocale, où nous pouvons prononcer les mêmes mots facilement, ou en les criant, la langue des signes utilise l'ampleur des mouvements pour s'exprimer.

Après avoir établi la liste des mouvements utilisée par notre système, nous avons effectué la matrice de similarité pour initialiser ce critère dans la base de données (***fig.*** 5.25).

Théoriquement, l'espace de représentation des mouvements n'est pas très discriminatif. Pourquoi ? Nous pouvons facilement confondre un mouvement de rotation de la main avec un mouvement d'itération, aussi le mouvement Courbe peut être très proche du mouvement Droit dans certains cas. Cependant, nous avons décidé de ne pas agrandir cet espace au moment de l'initialisation. C'est pour cette raison que les valeurs de la matrice de similarité (***fig.*** 5.25) sont plus ou moins dispatchées sur l'ensemble de la matrice.

Comme nous l'avons précédemment indiqué, nous avons intégré un facteur complémentaire pour la classification : le nombre des mains. Son rôle principal est de contrôler le type de mouvement sélectionné (Par exemple, un mouvement de séparation ne peut se faire avec une seule main !) et de donner plus de précision pour les résultats.

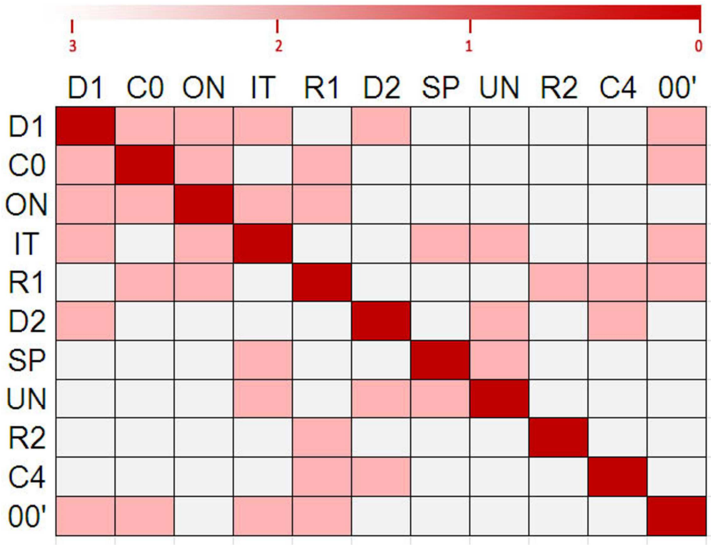


Figure 5.25 : *Matrice de dissimilarité des mouvements.*

Remarque : La matrice de dissemblance des nombres c'est une matrice de 2x2 (4 valeurs), que nous avons créé pour intégrer le nombre de la main dans les calculs.

	1	**2**
1	0	1
2	1	0

5.3.5. Modélisation complète des signes

Plusieurs travaux ont proposé des modèles simples des gestes des LS [Marshall 04] [Elliott 04] ou des modèles plus complets qui traitent en plus la multi-linéarité de la LSF [Liddell 89] [Filhol 12]. Les signes de notre base de données sont enregistrés sous la forme de vidéos indexées. Actuellement, nous avons 2234 signes qui couvrent un vocabulaire très important de la LSF. Pour éviter le traitement volumineux de l'information, nous avons décidé de travailler sur 500 signes (500 vidéos indexées). Le choix des vidéos de cet échantillon est basé sur le nombre de visites effectuées sur le signe. L'objectif principal de cette manipulation est de réduire le temps de traitement des données et de valider notre algorithme avant de l'appliquer sur l'ensemble de la base de données.

Après avoir présenté le cadre dans lequel nous situons notre travail, nous exposerons dans ce qui suit la manière dont la modélisation des signes de LSF est effectuée. Un signe de LSF est composé tout au plus de deux configurations de la main (Certains cas dépassent 2 configurations, comme dans le cas des signes qui désignent les chiffres). Nous commençons par le nombre des configurations de la main utilisé dans un signe pour installer le cadre général de la modélisation.

Nous considérons le premier emplacement occupé par la main après la sortie de l'état de repos. Notons ici que les vidéos de ces signes correspondant à la production des signes isolés et pas dans un contexte grammatical.



Figure 5.26 : *Étapes de modélisation du signe* '*BONJOUR*'

La figure 5.26 montre les différentes étapes pour exprimer un signe (Exemple 'Bonjour') :

1- Les mains sont en état de repos.

2- Déclenchement d'un geste pour quitter l'état de repos et préparer le corps à la phase de signation.

3- Le signeur formule une configuration de la main en occupant un espace d'emplacement devant lui.

4- Le signeur effectue un mouvement dans l'espace de signation. Ce mouvement peut concerner la main complète ou juste les doigts sans bouger la main. Cette étape n'existe pas dans le cas des signes sans mouvement.

5- Retour à l'état de repos par un relâchement des mains qui marque une fin du signe.

Durant notre modélisation, nous avons pris en considération les étapes 2, 3 et 4. Dans l'étape 1, nous enregistrons le nombre des mains utilisé dans le signe ainsi que la configuration de la main. Ensuite, dans l'étape 2, nous marquons l'emplacement spatial de la main par rapport aux emplacements de notre base de données. Enfin, nous inscrivons le mouvement accompagné de la main s'il existe, sinon nous utilisons le paramètre « Sans mouvement ». Notons que cette opération est effectuée en comparant notre codage avec les signes du dictionnaire IVT [*IVT 98*].

La modélisation d'un signe s'effectue par l'insertion de ses critères dans la base de données sous la forme d'un codage exploitable par notre système (***fig.*** 5.27). D'autres informations secondaires sont aussi enregistrées dans la base de données, à savoir l'identifiant, l'emplacement détaillé de la configuration de la main (Par exemple : la bouche, la pommette, l'oreille…), la miniature, le changement de configuration ou d'emplacement.

([41],[HC],[D1],[01])

Figure 5.27 : *Codage du signe BONJOUR*

Lorsque le signe est bien enregistré dans la base de données, nous pouvons générer une représentation graphique de ses critères (***fig.*** 5.28). Cette représentation va nous faciliter la comparaison entre notre codage de référence et les différents codages sauvegardés durant les expérimentations de notre système.

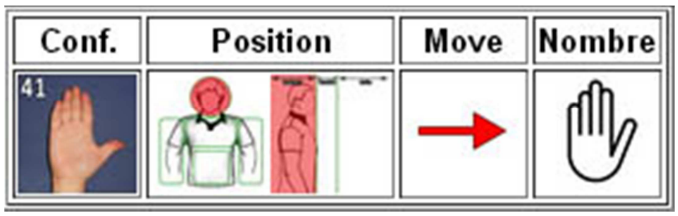


Figure 5.28 : *Représentation graphique du signe BONJOUR*

Durant ce travail, nous avons rencontré une autre problématique qui existe aussi dans les autres langues mais qui prend une forme différente dans la langue des signes. En l'occurrence les *homosignes*. Comme dans les langues orales, où les homonymes présentent des ambiguïtés lors de l'audition, les *homosignes* ont le même effet sur la vision dans la LSF. Certains signes ont la même représentation spatiale, mais des significations différentes. Cette particularité affecte notre système de codage, qui se base sur trois paramètres (configuration, emplacement, mouvement). Nous avons vu dans la figure 4.6 du chapitre 4, que les deux signes FOUR et METRO sont différenciés par l'orientation de la main que nous n'avons pas pris en compte dans notre système, ce qui implique un codage similaire entre les deux signes.

Notons que des problèmes semblables se trouvent dans le traitement automatique des langages naturels. Ainsi, dans la reconnaissance automatique de caractères, on peut avoir des conflits entre le chiffre 0 et la lettre O ou entre le chiffre 1 et la lettre l. Ou bien dans les synthétiseurs de parole lorsqu'à une même orthographe correspondent des phonèmes différents. L'ambiguïté peut être levée par des heuristiques susceptibles de provoquer des erreurs, ou bien par une analyse grammaticale automatique (*couvent* (verbe), ou *couvent* (nom)). Citons aussi le cas fort complexe d'une analyse sémantique pour une prononciation correcte, comme dans le cas du mot '*fils*' (mon fils achète des fils de pêches).

Le tableau 5.5 montre la liste des signes qui sont considérés comme des *homosignes* dans notre système. Nous pouvons trouver des couples de signes *homosignes*, ainsi que des groupes de *homosignes*.

Signe	Homosignes
Camion	Boxe
Gris	2, Pomme de terre
Île	Café
Jeudi	FAUX
Judaïsme	Antilope, Voix
Juillet	Jaune
Juin	Crème, Femme
La boisson	Boire, Demain
Le havre	Dijon
Lundi	2h, Lille
Marcher	A pieds
Marseille	Ce soir, Pain
Matin (calendrier)	Fax, Matin (heure)
Même	Couteau
Merci	Bonjour
Métro	Four
Minuit	Droit
Nancy	Jardin
Nuit (heure)	Nuit (calendrier)
Oncle	Octobre
Pain	Marseille
Papillon	Cinéma
Petit ami	Algérie, Amuse (joyeux)
Photocopier	Ananas
Pomme	Afrique
Pourquoi?	Maman
Préparer	Ce matin
Prier	Porte
Problème	Amoureux
Robe	Fatigue, Pull
Russie	Raison
Sauvage	Franc, Jour (calendrier), Livre, Nager, Natation
Savoir	Janvier
Septembre	Raisin
Sœur	Samedi
Soir (calendrier)	Journée, Soir (heure)
Suède	Français
Tant pis !	Simple
Thé	Dire
Tomate	400, 500
Train	Framboise
Triste	Chaud
Tunisie	Angleterre
Une clémentine	Complique
Université	Novembre
Vent	Tempête
Veuf	Vendredi
Viande	Bracelet
Vif	Pluie
Voir	Menteur
VRAI	Violet
Après-midi (heure)	Après-midi (calendrier)

Tableau 5.5 : *Liste des homosignes dans la base de données*

Le fichier [Matrice_Dissimilarité_Signe.xlsx] présente la matrice complète des signes, qui montre les valeurs de dissimilarité entre les signes de notre base de données. Le calcul de ces valeurs sera détaillé dans le chapitre 6.

La distribution de ces valeurs est représentée dans la figure 5.29. Nous remarquons qu'il y a un système bimodal des dissimilarités. En effet, nous avons constaté que le nombre des configurations dans un signe est la cause de cette bimodalité. Le premier sommet de la courbe représente la dissimilarité entre deux signes ayant le même nombre de configurations. D'autant que le deuxième sommet indique la dissimilarité entre deux signes ayant un nombre de configurations différentes.

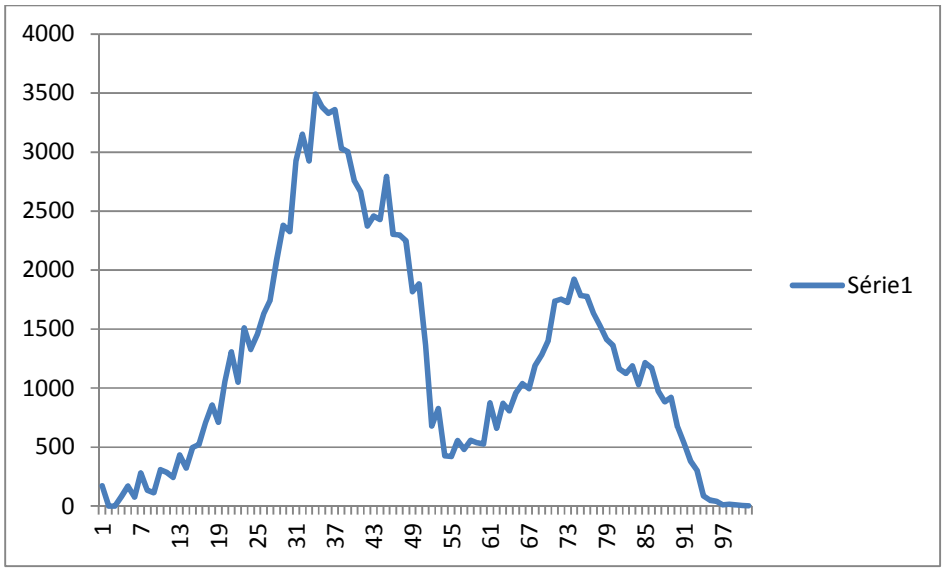


Figure 5.29 : *Distribution des valeurs de dissimilarité dans la matrice globale des signes*

5.4. Recherche d'un signe

Avant de passer à l'analyse statistique des résultats, nous allons expliquer le mode de fonctionnement du dictionnaire inversé LSF, ainsi que les différentes interfaces IHM de notre plate-forme. Les deux critères liés à l'ergonomie des interfaces que nous avons respectés durant notre travail sont : le guidage et la charge de travail [*Bastien-Scapin 93*]. Pour le premier, notre plate-forme contient toutes les informations nécessaires pour conduire l'utilisateur à trouver

son objectif grâce à la flexibilité du contenu. De plus, nous avons évité au maximum de trop charger le contenu, et de consacrer chaque interface pour une tâche bien définie.

Les interfaces présentées dans cette partie ont été soumises à plusieurs modifications, et elles présentent la version finale que nous avons adoptée à ce niveau.

La procédure de recherche d'un signe commence par une simple question sur le nombre des mains utilisées dans le signe (***fig.*** 5.30). La réponse à cette question nous aide à filtrer tous les signes qui correspondent à la sélection de l'utilisateur. Sachant que nous nous laissons toujours la possibilité de rattraper les choix des utilisateurs pendant les calculs des résultats.



Figure 5.30 : *Nombre des mains dans un signe recherché*

Après avoir sélectionné le nombre des mains, l'interface affiche l'ensemble des configurations de la main regroupées dans des classes de ressemblance (***fig.*** 5.31)

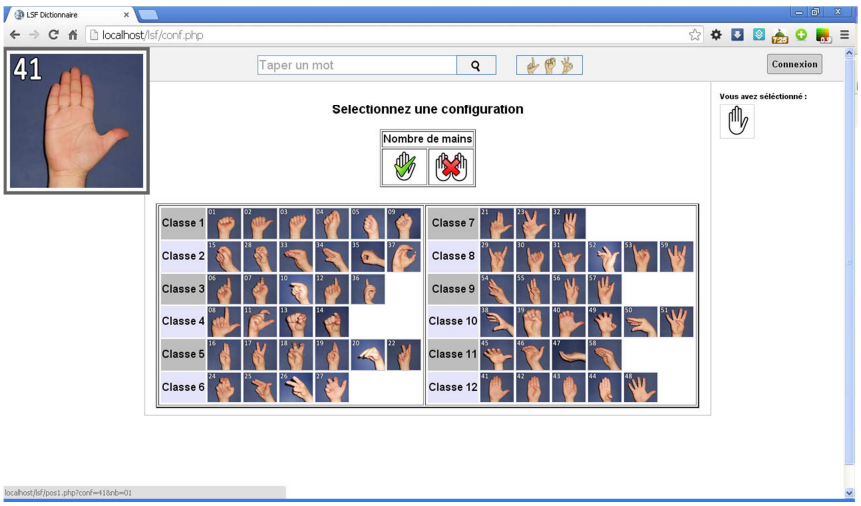


Figure 5.31 : *Interface de choix de configurations de la main*

L'interface contient 12 classes de configurations, chaque classe contient au plus 6 configurations. Nous avons intégré un système de zoom sur les configurations afin de faciliter les choix des utilisateurs. Pour respecter le guidage des utilisateurs [*Bastien-Scapin 93*], nous

avons consacré la partie droite de l'interface aux informations liées à la chronologie de la procédure de la recherche.

Le choix de la configuration de la main conduit l'utilisateur vers l'interface dédiée au deuxième critère qui est l'emplacement de la main (***fig***. 5.32). Nous avons décidé de diviser cette étape en deux parties : une interface pour la position frontale et une interface pour la position horizontale. Les premières expérimentations ont montré que le fait de sélectionner les deux positions sur la même interface pose des problèmes de sélection dus à la nature d'une représentation 2D dans un espace 3D. D'autant plus que cette division permet de filtrer au fur et à mesure les signes correspondants aux critères sélectionnés.

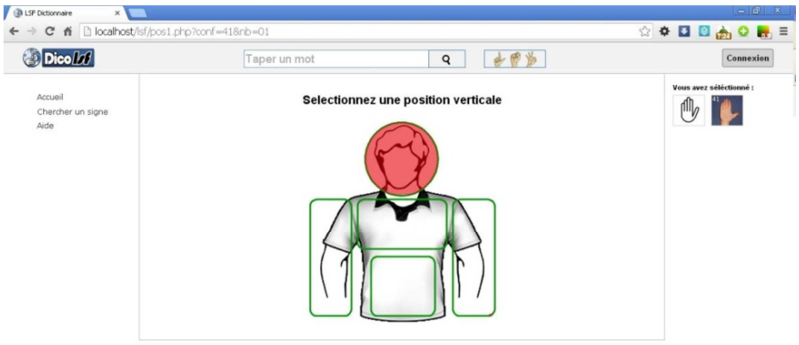


Figure 5.32 : *Interface de choix de la position frontale*

Sur cette interface, l'utilisateur a le choix de sélectionner l'une des cinq positions frontales : Tête, Torse, Abdomen, Main droite et Main gauche. Ensuite, l'interface demande à l'utilisateur de sélectionner la position horizontale (***fig.*** 5.33). Il s'agit de la position relative au corps du signeur : si la main touche le corps de celui-ci, nous parlons de la position Contact. Sinon, l'utilisateur sélectionne la position proche ou la position loin selon l'étirement des bras.

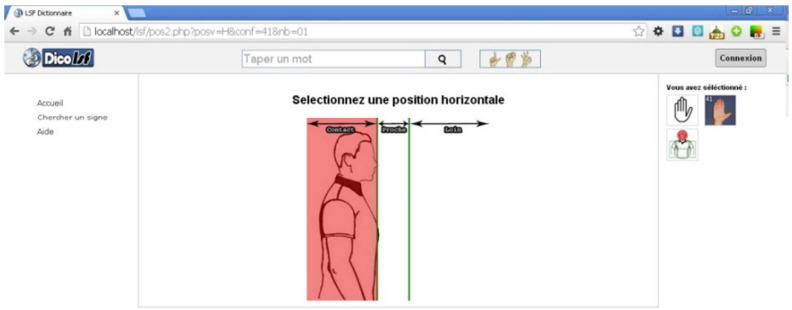


Figure 5.33 : *Interface de choix de la position horizontale*

Après cette phase, il ne reste qu'un seul critère à mentionner : c'est le mouvement de main. L'interface affiche 10 mouvements de la main (***fig.*** 5.34). Avec la possibilité de sélectionner le choix « Sans Mouvement » si le signe recherché ne s'effectue pas avec un mouvement.

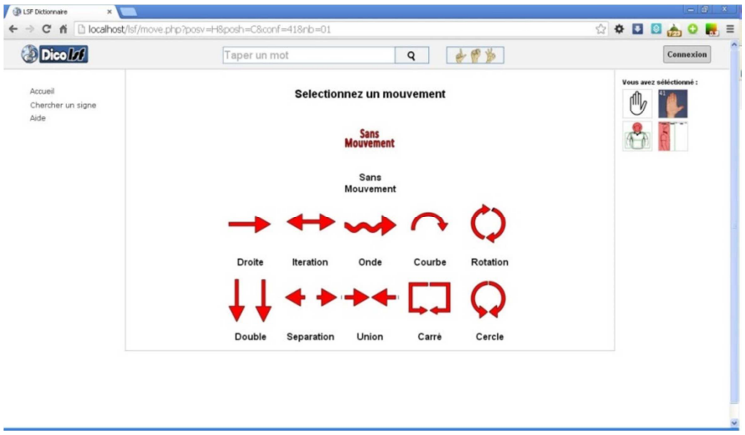


Figure 5.34 : *Interface de choix du mouvement de la main*

Lorsque notre plate-forme reçoit les critères saisis par l'utilisateur, elle affiche les résultats sous la forme d'un nuage de mots (Mur)[13] (***fig.*** 5.35), où le signe le plus proche est caractérisé par une taille de police supérieure à ceux qui ne le sont pas. Dans le cas où il y a plusieurs signes qui répondent aux mêmes critères, nous privilégions les signes les plus visités par rapport aux autres.

[13] Nous avions commencé par une présentation ordonné avec une valeur de la fonction d'évaluation, cependant la présentation en forme de mur semble avoir la préférence des usagers. (Nous gardons toujours la possibilité de donner le choix de la présentation des résultats.

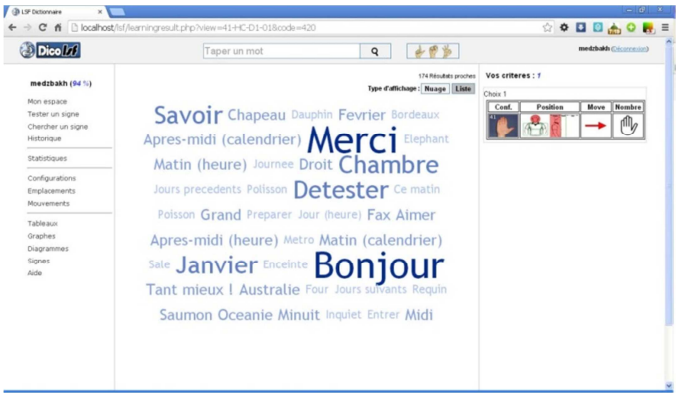


Figure 5.35 : *Résultats sous la forme d'un nuage de mots*

L'utilisateur a une autre possibilité de visualiser les résultats sous la forme d'une liste (***fig.*** 5.36). Dans ce cas, il peut avoir plus d'information, à savoir le degré de ressemblance entre ses critères et le codage de la base de données

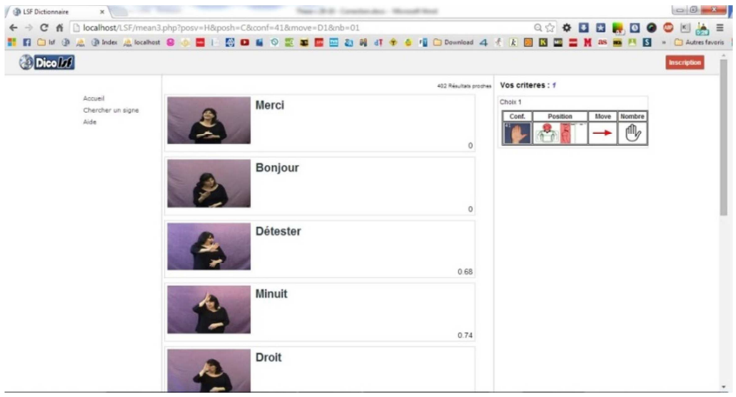


Figure 5.36 : *Résultats sous la forme d'une liste*

5.5. Conclusion

Il est important de ne pas oublier que l'objectif ici, est de faire en sorte que la recherche du vocabulaire correspondant à un signe donné soit effectuée d'une manière rapide et efficace. Nous sommes conscients que notre espace de représentation n'est pas complet et peut comporter des ambiguïtés. Le défi est d'obtenir des réponses rapides voire multiples à partir d'un nombre limité de données.

Il est possible de tester la version 'bêta' du dictionnaire inversé sur l'URL :

http://www2.univ-paris8.fr/ingenierie-cognition/master-handi/di/

Chapitre 6 : **CRITERES DE CLASSIFICATION**

6.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude préalable des données expérimentales acquises pendant le lancement de notre système pour le test. L'analyse statistique de ces données nous a permis de détecter les éléments qui interviennent le plus sur la pertinence des résultats et d'apprendre en fonction de cette pertinence.

Le suivi des scénarios de test nous a aidé aussi à extraire les anomalies de notre système qui perturbent la recherche d'un signe dans notre dictionnaire.

6.2. Initialisation des critères de la LSF

6.2.1. Définitions

Distance : Dans un espace métrique, la distance entre deux points d'un ensemble E est une application de $E \times E \rightarrow R^+$ telle que, $\forall i, j, k \in E$

1) $d(i,j) = d(j,i)$ $\quad symétrie$
2) $d(i,j) = 0 \leftrightarrow i = j$
3) $d(i,j) \leq d(i,k) + d(k,j)$ $\quad inégalité\ du\ triangle$

Similarité : C'est une autre méthode de comparaison entre deux vecteurs. Il s'agit d'une application de $E \times E \rightarrow R^+$ telle que $\forall i, j \in E$:

1) $s(i,j) = s(j,i)$ $\quad symétrie$
2) $s(i,j) \geq 0$
3) $s(i,i) \geq s(i,j)$

<u>*Remarque*</u> : Dans le cas d'une distance, nous cherchons toujours le degré de '*différence*' entre deux vecteurs, alors que dans le cas de la similarité, c'est une mesure de '*ressemblance*' entre deux vecteurs qui nous intéresse. Pour conclure, l'action de similarité est l'inverse de

l'action de distance. Par exemple aux deux vecteurs les plus proches, correspondent une distance minimale ou une similarité maximale.

Degré de ressemblance : C'est l'indice de similarité entre deux vecteurs.

Dissemblance : Elle est définie à partir de l'indice de similarité :

$$dis(i, j) = 1 - s(i, j)$$

Sachant que $0 \leq s(i,j) \geq 1$

Remarque : Il faut noter que la dissimilarité est une mesure qui ne confirme pas nécessairement l'inégalité du triangle.

6.2.2. Cadre général des expérimentations

Cette phase de notre travail est caractérisée par l'initialisation de l'ensemble des critères que nous avons sélectionné dans le codage des signes ainsi que le calcul des valeurs de dissemblance globale entre les codages. Nous avons initialisé les valeurs des coefficients des critères par une valeur fixe. Celle-ci sera modifiée dynamiquement en fonction des résultats expérimentaux.

Après avoir réalisé une première expérimentation (expérimentation 1 du chapitre 5) sur le nombre des critères suffisants pour la recherche d'un signe, nous avons effectué deux autres expérimentations dans ce chapitre. La deuxième expérimentation (expérimentation 2) a pour objectif la validation du critère le plus discriminatif entre les trois critères. Nous avons appliqué les règles des définitions de section 6.2.1 pour trouver les valeurs optimales. Alors que la troisième expérimentation (expérimentation 3) étudie l'impact du niveau de contact avec la LSF sur les résultats de recherche d'un signe.

6.3. Expérimentations

6.3.1. Méthode générale

Pour nos expérimentations, la plate-forme utilisée est un site web accessible, basé sur le langage de balisage HTML et codé dynamiquement par le langage de programmation PHP.

Cette plate-forme est liée à une base de données MySQL qui contient les données et les éléments de notre travail. Le système est composé de trois types de bases de données :

- Le corpus des vidéos LSF : 2234 signes ont été enregistrés sous une forme exploitable par le web (format FLV). Nous avons sélectionné un échantillon de 500 signes pour les expérimentations.

- La base de données de codage : Elle contient tous les éléments nécessaires pour le codage des signes sélectionnés, à savoir les critères de définition (configuration, emplacement et mouvement) et les informations liées aux signes comme le nombre d'occurrence (la fréquence) et le thème auquel appartiennent.

- La base de données d'apprentissage : Elle consiste à sauvegarder tous les scénarios de recherche des utilisateurs. Ce qui permet une analyse *a posteriori* des erreurs et constitue la base d'apprentissage du système

Le choix du vocabulaire est basé sur deux critères :

- Les signes doivent être utilisés fréquemment dans un cadre communicationnel en LSF, comme les signes de communication.

- Les signes ne dépassent pas 2 configurations de la main. Nous n'avons pas pris en compte les signes composés qui peuvent avoir plus de deux configurations de la main dans cette première phase, ceci pour éviter des sources d'erreurs : nous avons constaté qu'un nombre important d'erreurs était dû à une confusion par ignorance de la première ou la deuxième configuration, par exemple (***fig.*** 6.1).

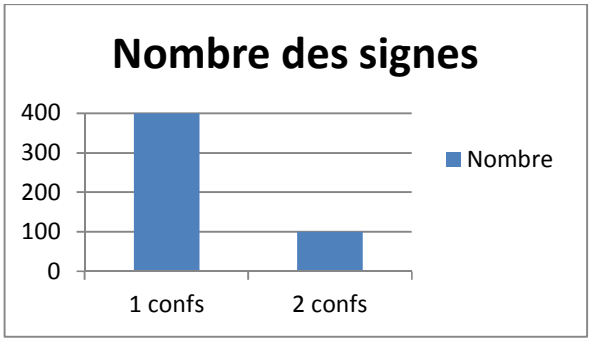


Figure 6.1 : *nombre de signes dans la base de données selon les classes (1conf, 2confs)*

Les participants au nombre de 40, ont été sélectionnés sur les critères suivants :

- La pratique de la LSF : la maîtrise de la LSF chez notre population est variée, d'autant plus que notre système cible les deux communautés ; entendante et sourde.
- L'âge : il est compris entre 20 et 60 ans.

Les expérimentations se déroulaient en 2 étapes. La première consiste à tester les signes en utilisant les valeurs d'initialisation que nous avons fixées au début. La deuxième étape porte quant à elle sur la mise à jour des données après les expérimentations de la première étape.

La première étape consiste donc à générer un signe dans la base de données d'une manière aléatoire. Sans savoir sa signification, le participant doit donner un codage propre à lui pour le signe donné. Une fois qu'il a validé ses critères, il vérifie les résultats obtenus sous la forme d'une liste des signes proches avec le signe de test. Puis il confirme son choix.

Lors de cette phase expérimentale, le scenario de chaque participant est enregistré en détails dans la base de données. Ainsi que l'historique de ses manipulations pour bien suivre son historique et sa méthodologie (sa façon de coder). Durant cette phase tous les signes ont été testés au moins deux fois pour éviter les enregistrements vides.

Une fois cette phase achevée, nous avons étudié les nouvelles informations acquises dans la base de données pour améliorer les algorithmes de calcul et lancer la deuxième phase d'expérimentation.

Le lancement de cette phase a été caractérisé par une amélioration de l'interface de test pour plus de souplesse en navigation, ainsi que la mise à jour des matrices par des nouvelles valeurs (résultat de la première phase de l'expérimentation). Les participants ont procédé de la même manière que la première phase et ont suivi l'avancement de leurs tests. Chaque participant disposait d'un espace personnel qui montre son taux de réussite, ainsi que des statistiques globales de ses tests (***fig.*** 6.2).

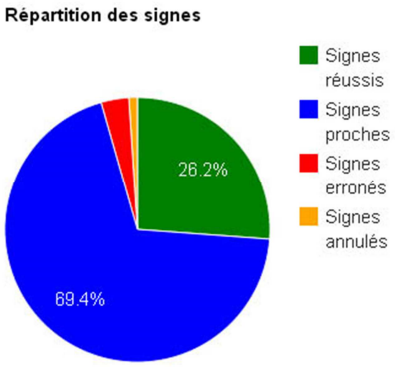


Figure 6.2 : *Évaluation comparative sur les signes effectués par un participant*

Les analyses ont été effectuées sur les variables suivantes : Le taux de réussite des participants, le taux de connaissance des signes et les coefficients des critères (Configuration, Emplacement, Mouvement)

En ce qui concerne le taux de réussite des participants, nous avons évalué le nombre de réponses exactes ou très proches de chaque participant par rapport au nombre des expérimentations effectuées. Cette opération nous donne une perception globale sur l'aspect expérimental de chaque participant, ainsi que la crédibilité de ses réponses.

Concernant le taux de connaissance des signes, nous avons moyenné les taux de réussite de chaque signe, pour filtrer ceux qui posent problème dans les résultats. Cette information nous permet de vérifier l'existence des erreurs au niveau du codage d'un signe dans la base de données ou une anomalie dans les critères d'un signe (Manque de la deuxième configuration par exemple).

En ce qui concerne les coefficients des critères, nous les avons calculés par rapport aux résultats obtenus. Au début, nous avons initialisé tous les coefficients à la même valeur et au fur et à mesure des expérimentations, nous les avons ajustés pour avoir la meilleure formule de calcul (coefficient d'apprentissage).

Au total, nous avons effectué 7230 observations. Ce nombre a été réduit après une étude des variables expérimentales, et nous avons gardé 6775 observations, que nous jugeons convenables pour notre modèle d'étude. Nous avons appliqué un protocole de préparation des données qui s'appuie sur un nettoyage global des données et une analyse particulière des résultats. L'examen de la distribution des variables a détecté des anomalies dans les expérimentations (codage incomplet, expérimentations annulées), des valeurs extrêmes (plus de 2 configurations dans un codage) et des éléments ambigus dans notre système (interface

non guidée, configurations pas claires…). L'analyse particulière des résultats a détecté des incohérences entre les variables (Problème d'ordre sur les signes ayant 2 configurations) et des variables qui n'ont aucune influence sur les résultats (participants qui effectuent moins de 2 expérimentations).

6.3.2. Expérimentation 2 : Le critère le plus discriminatif

6.3.2.1. L'influence de la configuration de la main sur les résultats

Plusieurs études ont concentré leur axe de recherche sur la configuration de la main plutôt que sur les autres critères [*Cuxac 00*] [*Bouvet 92*] [*Braffort 96*] [Filhol 06]]. Aussi, nous remarquons que dans les dictionnaires des LS, l'indexation du vocabulaire se base sur la configuration de la main [*IVT 98*]. De ce fait, si ce critère prend cette place dans la langue des signes, nous pouvons donc préjuger qu'il joue le rôle principal dans la définition d'un signe. En changeant la configuration de la main, nous obtiendrons un autre signe ou une autre signification. En revanche, le changement léger de l'emplacement ou du mouvement n'a pas beaucoup d'influence dans la plupart des signes. Il est important de noter que nous essayons dans ce travail de montrer la possibilité de trouver un signe donné avec un minimum de critères saisis.

Lorsque les participants ont effectué l'expérimentation 1(chapitre 5), nous avons vu que la configuration de la main et son emplacement ne sont pas suffisants pour trouver le bon signe. Nous avons aussi remarqué un problème dans le modèle des emplacements qui n'était pas très clair pour les utilisateurs. De ce fait, nous avons intégré un troisième critère qui est le mouvement de la main et qui s'adapte avec un nouveau modèle des emplacements basé sur des emplacements réels et pas virtuels.

6.3.2.2. Hypothèses :

Cette expérience a été menée pour étudier l'effet de la configuration de la main sur les calculs de la ressemblance entre les signes de la base de données et le codage des participants.

Notre hypothèse générale est que la configuration de la main doit avoir plus de poids pour bien discriminer les signes et améliorer les résultats sur la ressemblance.

Suite aux résultats obtenus dans l'expérimentation 1 (chapitre 5), nous nous attendions à ce que les participants effectuent leurs recherches d'une manière plus guidée par l'interface et que la réussite d'une observation se base sur le bon choix de la configuration de la main.

6.3.2.3. Méthode :

Dans cette expérimentation, nous avons enregistré 6775 observations réalisées par 36 participants. Les conditions de cette expérience sont :

- Le niveau de la langue et l'âge des participants sont variés.
- Les signes sont générés aléatoirement.

Il faut noter que cette expérimentation a nécessité énormément de temps lors de ce travail à cause de la quantité d'information que nous avons traitée au cours de la période de test. Il y a aussi les différentes étapes de l'exploration et la préparation des données (Détection d'anomalies, nettoyage des enregistrements, classement…). Il faut noter aussi que nous avons développé un système de suivi d'information capable de répondre en détail à nos requêtes d'inspection.

Durant cette expérience, les participants ont suivi un modèle de recherche plus complet que l'expérimentation précédente. Aussi la méthode de calcul de la ressemblance a été ajustée au fur et à mesure des retours des participants.

La figure 6.3 représente un schéma global de la procédure d'expérimentation. Après la génération d'un signe de la base de données, le participant saisit les trois critères, qui vont être transmis au système sous une forme numérique. Ce package construit un objet de codage lié au signe généré. Ensuite, l'application récupère les matrices sous la forme d'un fichier XML pour calculer la ressemblance entre l'objet et le signe. Après, elle fournit la liste des résultats triée par ordre décroissant de ressemblance avec le classement du signe généré. Enfin, le participant valide le résultat qui lui convient pour répondre à son codage.

Au fur et à mesure de toutes ces étapes, notre plate-forme enregistre les scénarios suivis par les participants dans chaque observation.

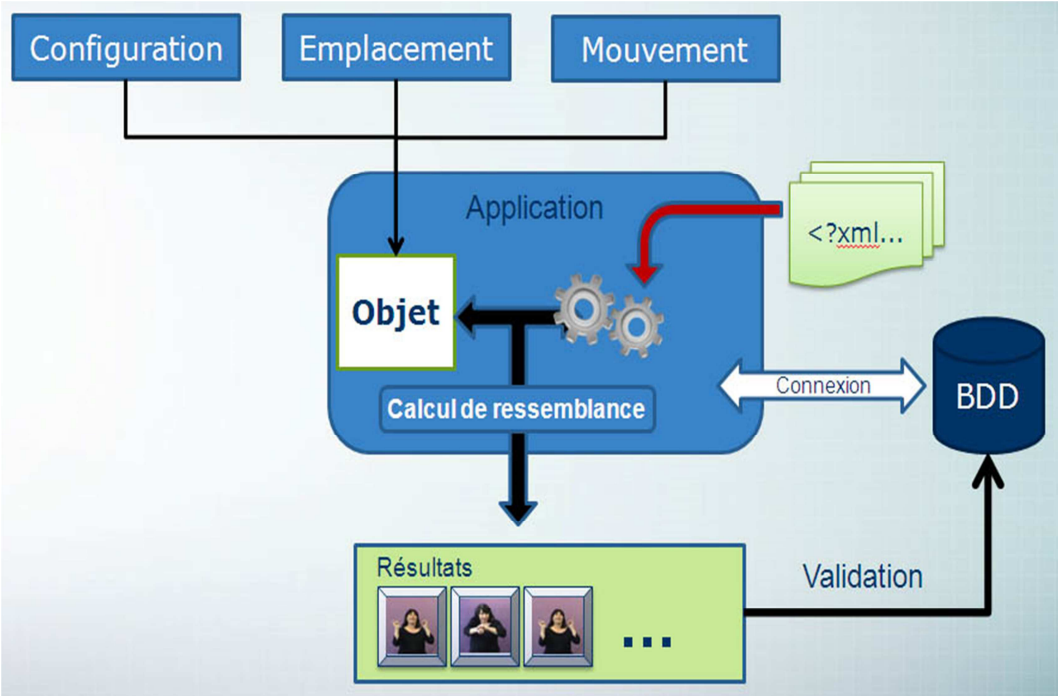


Figure 6.3 : *Schéma explicatif de la procédure de recherche dans l'expérience 2*

Avant de lancer cette expérience, nous avons conçu l'algorithme de calcul sur plusieurs niveaux :

Dans la première étape, nous avons normalisé les différentes matrices de notre système (3 matrices) pour appliquer les mêmes règles sur l'ensemble des données. Ainsi que nous avons converti toutes les valeurs en degré de dissimilarité ou en dissemblance. Donc, nous avons obtenu des matrices telles que,

$$0 \leq a \leq 1 \quad \forall a \in Mc$$
$$0 \leq b \leq 1 \quad \forall b \in Mp$$
$$0 \leq c \leq 1 \quad \forall c \in Mm$$
$$avec\ Mc, Mp, Mm\ sont\ des\ matrices$$

Mc est la matrice carrée de configuration de taille 59x59.
Mp est la matrice carrée d'emplacement de taille 15x15.
Et ***Mm*** la matrice carrée de mouvement de taille 11x11.

Dans la deuxième étape, nous avons commencé la conception de la fonction de calcul. Cette fonction doit avoir la possibilité de mettre en liaison entre le codage des participants et le

codage du signe de référence. Pour cela, nous avons décidé d'exploiter les matrices initialisés et normalisées par la formule suivante :

$$DIS(S_{ref}, S_{user}) = \sum_{i=1}^{2} \alpha\left(dis(C_{ref(i)}, C_{user(i)})\right) + \beta\left(dis(P_{ref(i)}, P_{user(i)})\right) + \gamma\left(dis(M_{ref(i)}, M_{user(i)})\right)$$

Avec :

$DIS(S_{ref}, S_{user})$: La dissemblance globale entre le signe et le codage de l'utilisateur.

$dis(C_{ref(i)}, C_{user(i)})$: La dissemblance entre les configurations.

$dis(P_{ref(i)}, P_{user(i)})$: La dissemblance entre les emplacements.

$dis(M_{ref(i)}, M_{user(i)})$: La dissemblance entre les mouvements.

α, β, γ : Ce sont des coefficients d'apprentissage avec $\alpha + \beta + \gamma = 1$

Avant de passer à la troisième étape, nous avons effectué un test interne pour évaluer la nouvelle formule de calcul. Nous avons aussi analysé les différences entre les résultats de l'expérimentation 1 et les résultats de celle-ci.

En faisant cela, nous avons rencontré un autre problème lié aux signes qui utilisent le mouvement d'une seule main dans un mouvement de deux mains. C'est-à-dire la sélection d'un mouvement qui appartient au groupe des mouvements effectués par une seule main (Droite, Itération, Onde, Courbe et Rotation) dans un signe qui utilise deux mains comme nous avons donné l'exemple du signe ADRESSE dans la figure 5.24 du chapitre précèdent. Rappelons que nous avons dix mouvements de la main divisées en deux groupes. Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, cette division n'est pas stricte (Chapitre 5). Ainsi, nous avons rajouté un élément supplémentaire dans notre formule qui n'influence pas beaucoup sur l'ergonomie de nos interfaces, mais filtre profondément les résultats de recherche. Il s'agit du nombre de mains. Finalement notre fonction de calcul possède la structure suivante :

$$DIS(S_{ref}, S_{user}) = \sum_{i=1}^{2} \alpha\left(dis(C_{ref(i)}, C_{user(i)})\right) + \beta\left(dis(P_{ref(i)}, P_{user(i)})\right) + \gamma\left(dis(M_{ref(i)}, M_{user(i)})\right) + \delta\left(dis(N_{ref(i)}, N_{user(i)})\right)$$

Avec :

$DIS(S_{ref}, S_{user})$: La dissemblance globale entre le signe et le codage de l'utilisateur.

$dis(C_{ref(i)}, C_{user(i)})$: La dissemblance entre les configurations.

$dis(P_{ref(i)}, P_{user(i)})$: La dissemblance entre les emplacements.
$dis(M_{ref(i)}, M_{user(i)})$: La dissemblance entre les mouvements.
$dis(N_{ref(i)}, N_{user(i)})$: La dissemblance entre les nombre de la main.
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Ce sont des coefficients d'apprentissage avec $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$

Après avoir défini la fonction, nous sommes passés au calcul des coefficients d'apprentissage. Tout d'abord, nous avons créé la matrice de confusion des signes selon les valeurs suivantes : α= β= γ= δ

La mesure de dissemblance entre l'ensemble des X signes, donne normalement une matrice M[i,j] (1≤i,j≤X) symétrique et à diagonale nulle. Toutefois, si jamais M[i,j] =0 lorsque i ≠ j ceci prouve qu'il y a bien une confusion entre les deux signes i et j dans l'espace de représentation suite à une surjection. Ceci peut s'expliquer par un codage similaire de ces signes malgré leur différence visuelle. Pour éviter ce problème il faudrait trouver un compromis : soit on élargi l'espace de représentation avec d'autres critères ce qui implique un alourdissement de requêtes, soit on accepte l'existence d'homosigne dans notre espace dans l'attente que la présentation de l'ensemble de ces signes permet de trouver le signe recherché.

Ensuite, dans la troisième étape, les participants ont commencé leurs expérimentations en appliquant les nouvelles règles de calcul que nous avons définies. Rappelons que l'objectif de cette étape est de déterminer la variable qui peut optimiser au maximum les résultats. Notons que les expérimentations ont été effectuées avec des coefficients statiques et égaux. Chaque participant peut suivre son avancement durant les tests, ce qui lui permet de s'adapter progressivement à la plate-forme. C'est cette interactivité que nous allons voir dans l'expérimentation 3 de cette recherche.

La dernière étape qui présente la majorité du travail de cette expérience, consiste à étudier les différents résultats en modifiant les coefficients d'apprentissage. En effet, les observations des participants sont indépendantes de la fonction de calcul. Nous avons ré-exécuté les scénarios des participants, et nous les avons testé sur différents coefficients d'apprentissage (α, β, γ et δ). Cette automatisation a permis de réduire considérablement l'effort et le temps dans cette expérience.

Pendant cette dernière étape, nous avons ajusté les valeurs des coefficients pour extraire la formule optimale du calcul. Vu la taille volumineuse des données et les contraintes techniques des plate-formes web, nous avons fait appel à des programmes – que nous avons développé - pour les calculs.

D’autres outils ont été développés dans cette expérience, comme le système pour générer les matrices de confusion en temps réel, ainsi que le module de suivi des critères (taux de réussite, nombre d’occurrences totales, pourcentage d’utilisation).

A la fin de cette expérience, nous avons exploité des méthodes d’apprentissage supervisées pour la classification des signes. Nous avons utilisé les algorithmes du réseau de neurones et les arbres de décision. Les résultats vont être présentés dans la section suivante.

Un résumé de cette expérience est présenté dans la figure 6.4.

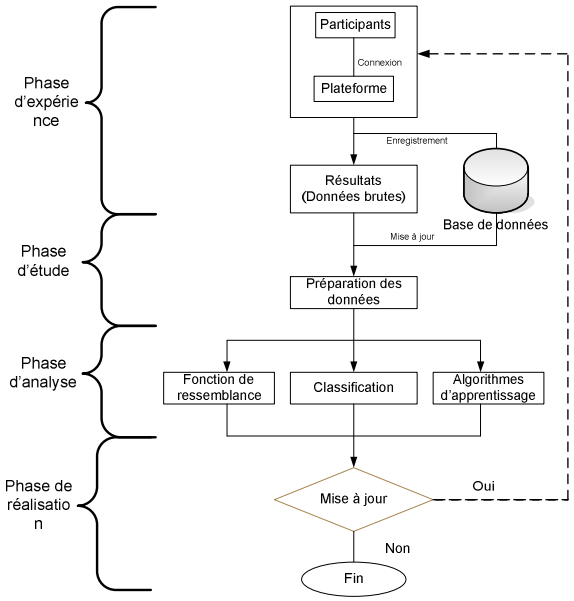


Figure 6.4 : *Schéma bloc descriptif des étapes de l’expérimentation 2*

6.3.2.4. Résultats et interprétations :

Rappelons que nous avions supposé que la configuration de la main représentait le critère le plus discriminatif dans la recherche d’un signe parmi les trois critères que nous avons sélectionnés. Dans un premier temps, nous allons exposer l’effet de rajouter les mouvements de la main dans la procédure de recherche. Ensuite, nous allons expliquer les résultats de l’ajustement des coefficients.

Nous commençons par le taux de réussite des signes testés. Plus de 81% des signes dépassent 90% du taux de réussite. C’est la valeur que nous avons obtenue avec le nouveau système de codage, sachant que les matrices gardent toujours leur valeurs initiales. Cette valeur sera comparée après, lors de l’ajustement des coefficients d’apprentissage.

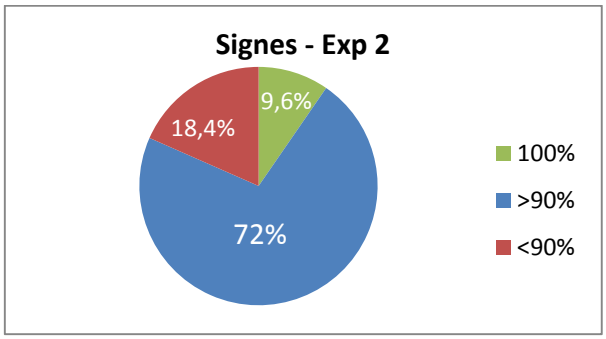


Figure 6.5 : *Pourcentage des signes selon le taux de réussite dans l'expérimentation 2*

Nous remarquons une augmentation du taux de réussite par rapport aux résultats de l'expérimentation 1 (chapitre 5). Nous avons atteint à un pourcentage de 81,6% (75% + 9,6%) contre 71,5%. Nous pouvons considérer aussi que la valeur de 9.6% des réponses exactes est importante, et elle signifie que 48 signes de 500 ne posent aucun problème pour les participants. Pour le reste des signes où le taux de pourcentage n'a pas dépassé 90%, nous attribuons deux causes à cet écart :

- Parfois les participants donnent un codage incomplet du signe. Par exemple un code sur une seule configuration pour un signe à deux configurations. Ils considèrent la première configuration comme un déclenchement du signe et la deuxième configuration comme le signe.
- La deuxième cause est reliée à certains signes qui sont mal codés. Dans ce cas, nous avons pris en compte le codage des participants pour recoder ces signes.

Pour mieux comprendre les résultats, nous avons mené une analyse plus approfondie sur l'état des critères dans cette expérimentation. Nous avons étudié le taux de réussite de tous les critères, le pourcentage sur la distribution et les facteurs qui causent l'ambiguïté de sélection.

6.3.2.4.1. Configuration de la main :

Rappelons que nous travaillons sur 59 configurations de la main, nous avons établi une matrice de similarité initialisée par des valeurs des pratiquants de la LSF, nous avons normalisé la matrice et créé les classes de ressemblance (12 classes).



Figure 6.6 : *Taux de réussite des configurations de la main*

La figure 6.6 montre le taux de réussite de chaque configuration durant cette expérimentation. Nous remarquons que certaines configurations ne présentent pas de problème d'ambiguïté pour les participants. Il s'agit des configurations (10, 21, 29, 36 et 56). Il y a aussi des configurations, dont le taux de réussite est très élevé. Ce sont les configurations (02, 08 et 31). D'autre part, nous avons des configurations où le taux de réussite est très faible, comme par exemple (03, 05, 12, 30, 44 et 50). Ces configurations sont influencées par d'autres qui appartiennent aux mêmes classes et qui tirent la majorité des sélections.

La comparaison entre la distribution des configurations dans les signes références et le codage des participants a montré qu'il y a une légère superposition des deux distributions (***fig.*** 6.7). Cela explique le taux de réussite globale que nous avons donné dans la section précédente de cette expérience. Nous avons remarqué aussi que les configurations les plus présentes sont des configurations utilisées dans les structures de grande iconicité [*Cuxac 00.a*].

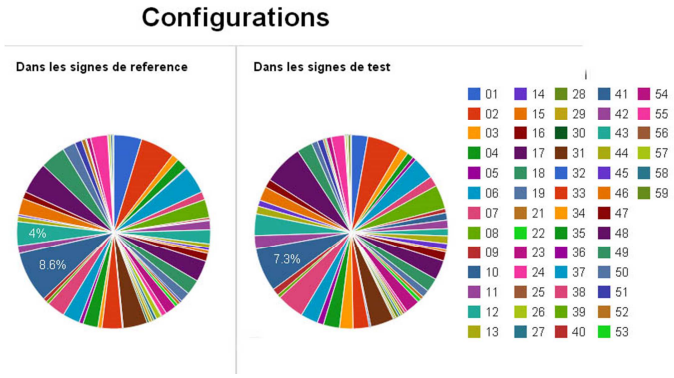


Figure 6.7 : *Distribution des configurations de la main dans les deux codages*

Nous avons étudié le comportement de chaque configuration dans cette expérimentation. Pour cela, nous avons mis à point un système de suivi qui permet de tracer les différents états de chaque configuration dans toutes les observations. La figure 6.8 montre un exemple de ce suivi. Nous avons la configuration '01' qui a la forme de poing fermé. Cette configuration est présentée dans les signes de référence 28 fois, et 71 fois dans le codage des participants. En bas de la figure, nous avons la liste des configurations que les participants ont sélectionnées à la place de la configuration '01'. Nous avons deux types de configurations : les configurations imprimées en bleu sont les configurations qui appartiennent à la même classe de la configuration '01' ou elles ont un degré de similarité très élevé. Celles en fond rouge (35, 41, 44 et 55) sont les configurations qui n'appartiennent pas à la même classe.

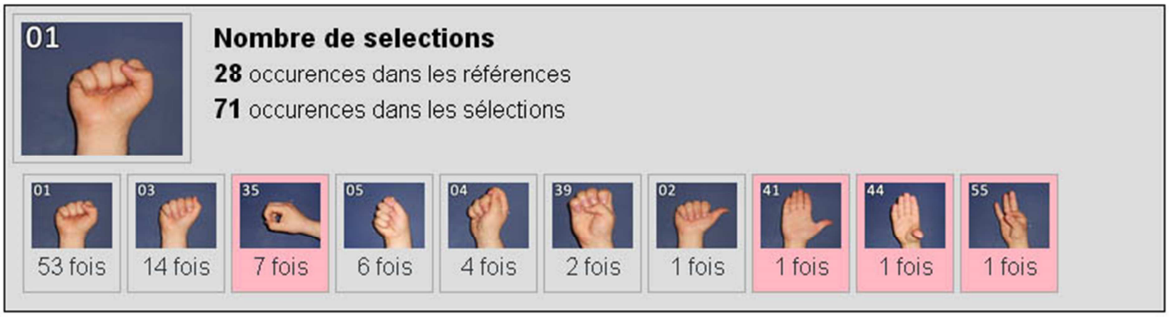
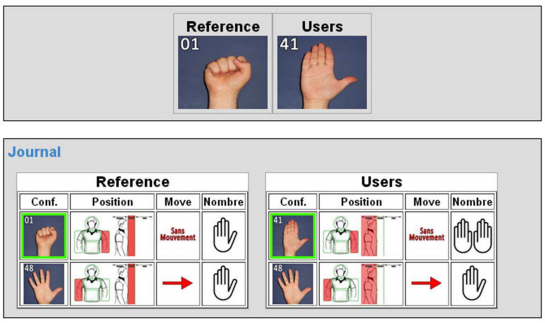


Figure 6.8 : *Fenêtre de suivi de la configuration (01)*

A partir de cette fenêtre nous pouvons voir les détails de chaque sélection en cliquant sur l'image de la configuration. Nous remarquons que cette configuration a été sélectionnée 53 fois sur 71 au total. Mais nous avons quelques anomalies sur les configurations (41, 44 et 55). Ce sont des configurations qui n'appartiennent pas à la même classe. Prenons l'exemple de la

configuration (41) : en cliquant sur l'image de cette configuration, nous trouvons l'observation qui a causé cette anomalie (***fig.*** 6.9).

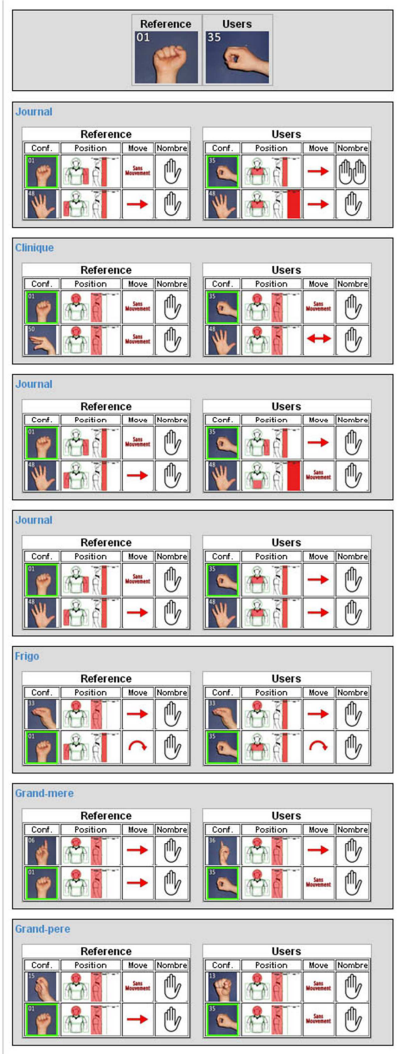


Cette anomalie a été enregistrée sur le signe 'JOURNAL', nous avons le codage du participant à droite qui indique la comparaison des deux configurations (cadrage vert). Sur la première configuration l'utilisateur a sélectionné la configuration (41) au lieu de la configuration (01). L'analyse de la vidéo JOURNAL a montré que le participant n'a pas pris en compte la fermeture de la main au début de signe et il a passé directement à l'étape suivante avant la deuxième configuration.

Figure 6.9 : *Comparaison entre la configuration (01) et la configuration (41)*

Dans le cas de la configuration (41), nous avons enregistré un seul cas dû à l'erreur du participant.

Nous avons aussi l'exemple de la configuration (35) qui était sélectionnée 7 fois à la place de la configuration (01). En cliquant sur cette configuration, nous trouvons toutes les occurrences qui ont causé cette ambiguïté (***fig.*** 6.10).



Nous avons enregistré 7 occurrences de la configuration (35) à la place de la configuration (01) bien que les deux configurations n'appartiennent pas à la même classe.

Comme nous avons indiqué dans l'exemple précèdent, le cadre vert montre les cas qui ont causé l'ambiguïté. Nous avons 3 observations du signe JOURNAL, et une observation pour le reste. Visuellement, les deux configurations (01) et (35) sont à peu près proches. Mais après la vérification de la matrice de dissemblance des configurations, nous avons trouvé que le degré de dissimilarité entre les deux configurations dépasse 0,2. Rappelons que nous avons créé les classes des configurations en se basant sur un degré de dissimilarité qui ne dépasse pas 0.2 (contrainte pratique), et que chaque classe ne contient pas plus de 6 configurations (contrainte ergonomique). Par le fait de cette politique, nous trouverons cette ambiguïté entre les deux configurations.

Plusieurs points ont été soulevés à propos de ces cas : C'est une indication pour réexaminer les valeurs de la matrice de dissimilarité, le degré de dissimilarité entre les deux configurations doit être diminué. Nous avons aussi une indication sur le signe JOURNAL qui a reçu 3 observations différentes à notre codage. Ce nombre doit être comparé avec le nombre total des observations sur le signe JOURNAL.

Figure 6.10 : *Comparaison entre la configuration (01) et la configuration (35)*

Le troisième cas que nous avons étudié dans cette analyse est le cas de la configuration (03). Celle-ci appartient à la même classe de la configuration (01). Le degré de dissimilarité entre les deux configurations est égal à 0,1. Le nombre d'occurrences de (03) dans le cas de la configuration (01) est très élevé. Nous avons 14 sélections sur 71 au total (19%). Selon notre système, ces valeurs sont correctes et normales. Cela montre que le degré de dissimilarité affecté à ces configurations est conforme et que les deux configurations peuvent être considérées comme une seule configuration dans certains signes.

Cette opération a été réalisée pour toutes les configurations de la main, et grâce à notre système, nous avons pu détecter les anomalies de test, ainsi que les erreurs effectuées lors de notre codage. Dans la figure 6.11, nous présentons les résultats de cette analyse.

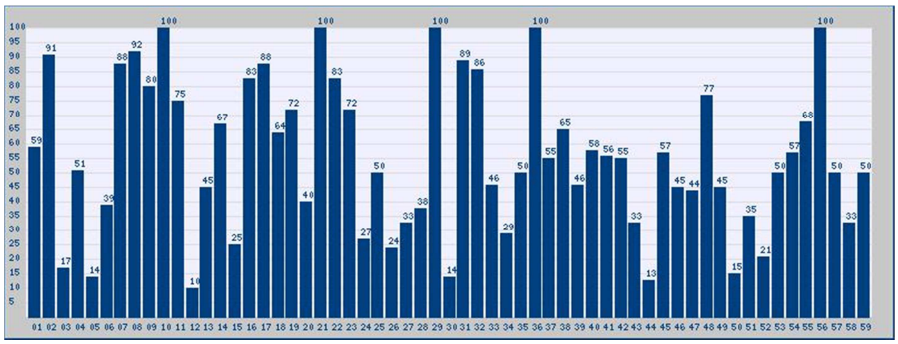


Figure 6.11 : *Taux de réussite des configurations après l'analyse*

Les données expérimentales de cette analyse nous ont permis de générer la matrice de confusion des configurations présentées en annexe (Annexe F). Le tableau 6.3 présente la matrice de confusion des classes des configurations générées dans l'expérimentation 2. Le nombre des sélections maximales figure en caractères gras. Toutes les classes sont associées à une sélection maximale correcte.

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	**264**	13	0	2	0	1	0	0	1	8	1	2
2	2	**192**	0	*19*	1	0	1	2	1	*17*	5	7
3	0	0	**189**	*19*	2	2	2	3	0	0	2	0
4	0	0	3	**108**	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	0	1	**177**	*14*	4	0	5	6	0	1
6	0	2	0	1	13	**15**	5	0	2	0	0	0
7	0	2	0	0	12	2	**62**	0	0	1	1	0
8	1	0	1	0	0	1	0	**121**	2	3	5	0
9	0	1	1	8	0	0	0	0	**68**	2	1	0
10	3	*23*	0	0	0	0	0	2	1	**189**	5	*38*
11	3	5	0	0	0	0	0	0	0	4	**61**	*35*
12	1	*10*	0	3	6	0	1	0	0	*14*	*33*	**408**

Tableau 6.3 : *Matrice de confusion des classes des configurations dans l'expérience 2 (Les sélections maximales figurent en caractères gras)*

Trois classes faisant exception impliquent une confusion selon le nombre de sélections. Les classes 10, 11 et 12 présentent des intersections entre elles. Ainsi nous avons :

38 sélections de la classe 12 au lieu de la classe 10 (14%)

35 sélections de la classe 12 au lieu de la classe 11 (32%)

33 sélections de la classe 11 au lieu de la classe 12 (8%)

Ces valeurs restent raisonnables, car les trois classes sont très proches entre elles (La main ouverte : main courbée dans la classe 11 et main plate dans la classe 12. La classe 10 présente la main ouverte à 4 doigts).

Nous avons aussi la classe 2 qui était sélectionnée 23 fois à la place de la classe 10. Cela est dû aux configurations 34 et 50 qui n'appartiennent pas à la même classe mais la seule différence entre les deux configurations est l'ouverture des doigts. Ce résultat sera pris en compte pour déplacer l'une des configurations vers la classe correspondante.

6.3.2.4.2. Emplacement dans l'espace :

Pour les emplacements de la main, Nous avons procédé de la même manière que la configuration de la main. Rappelons que nous avons modifié notre modèle de choix d'emplacement, qui se compose maintenant de 15 emplacements dans l'espace en face autour du signeur. Dans notre système, un emplacement est constitué d'une position verticale (Tête, Torse, Abdomen, Droite et Gauche) et une position horizontale (Contact, Proche, Loin). Pour cela, l'emplacement sera présenté par deux images dans les figures de ce chapitre.

Les résultats globaux de ce modèle sont présentés dans la figure 6.12.

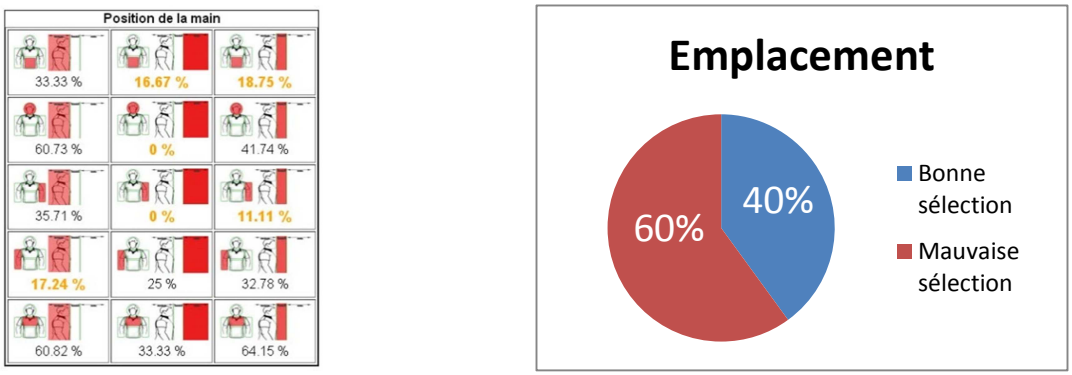


Figure 6.12 : *Pourcentage de réussite globale des emplacements*

En comparaison avec les résultats de l'expérience 1, nous avons doublé le taux de réussite des emplacements avec le nouveau modèle (34% contre 17%). Mais cette valeur reste

encore insuffisante pour une recherche efficace d'un signe. Nous allons voir ensuite la cause de cette valeur dans l'analyse détaillée.

La figure 6.13, représente une comparaison entre la distribution des emplacements dans les références, et la distribution des emplacements dans les tests. Deux emplacements ont monopolisé plus de 60 % des sélections dans les deux observations : (Proche du torse, et Contact avec la tête). Ces deux emplacements sont très importants dans la LS. L'emplacement (Proche du torse) représente le centre de l'espace de signation de la LS Cependant, l'emplacement (Contact avec la tête) contient plusieurs positions très utilisées dans la LS (Bouche, Menton, Pommette, Oreille, Front…).

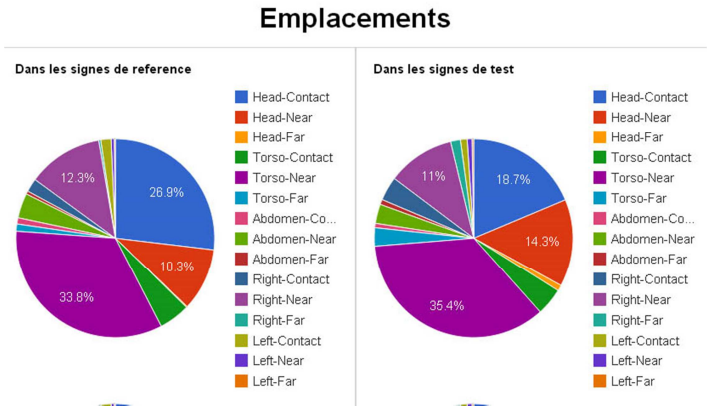


Figure 6.13 : *Comparaison des distributions des emplacements dans les deux observations (références et test)*

Comme dans les configurations, nous avons étudié chaque emplacement sélectionné par les participants dans les observations enregistrées. Nous avons remarqué une influence du mouvement de la main sur son emplacement. Certains participants prennent l'emplacement après le mouvement. Le signe BONJOUR par exemple est un signe qui s'effectue avec la configuration de la main (41) en contact avec la tête (Bouche) et la main bouge vers l'extérieur du corps. Cependant certains participants sélectionnent l'emplacement (Proche de tête) et pas (Contact avec la tête). La figure 6.29 montre l'analyse détaillée de l'emplacement (Contact avec la tête).

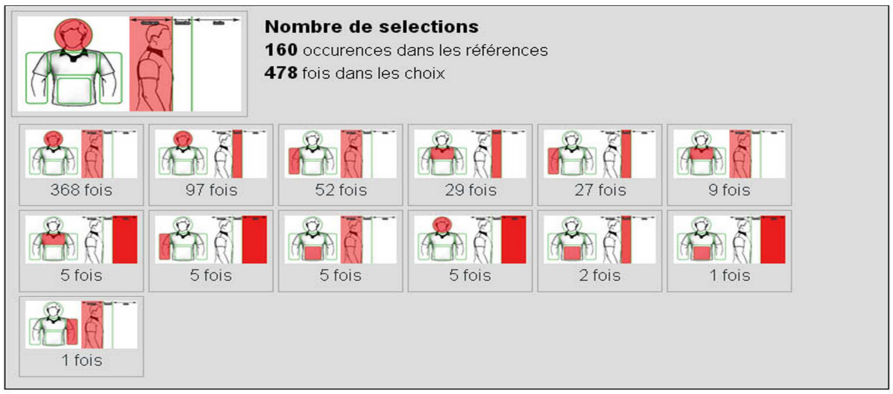


Figure 6.14 : *Fenêtre de l'analyse détaillée de l'emplacement (Contact avec la tête)*

Comme la figure 6. 14- l'indique, l'emplacement (Tête-Contact) a été confondu avec presque tous les autres emplacements. Sur 478 sélections, les emplacements ayant un nombre de sélections inférieures ou égales à 10 ont été ignorés dans les calculs.

En analysant les autres sélections, nous avons un taux de réussite de 76.9% (368 sur 478 fois). L'emplacement qui cause le plus d'ambiguïté est l'emplacement (Tête-Proche) avec une valeur de 97 sur 478 fois. Dans l'espace géométrique, les deux emplacements sont très proches, vu que la position frontale des deux sélections est la même (Tête), et que la principale différence demeure dans la position horizontale.

Pour minimiser les erreurs de cette position, nous avons mis en place un système de classes pour les emplacements. Il se base sur le niveau horizontal. Chaque position horizontale regroupe l'ensemble des positions verticales. Ces positions vont être considérées très proches par rapport aux autres qui n'appartiennent pas au même groupe. La problématique existe dans un déplacement de la main sur le plan horizontal qui devient parfois très difficile à détecter dans une vidéo pour un angle de vue frontale. (La vue et le déplacement sont sur le même niveau).

Le tableau 6.4 présente la matrice de confusion des emplacements de la main par rapport au corps. Les valeurs de sélection maximales figurent en caractère gras. Parmi l'ensemble des emplacements, les emplacements (AN, AC, RC et RN) n'ont pas été associés à une sélection exacte lors de l'expérimentation. Les emplacements (HF, AF, RF, LN et LF) sont représentés par des valeurs très faibles. Ce sont les emplacements qui désignent la position (F = Loin). Nous pouvons interpréter ces résultats par la difficulté de détecter l'éloignement de la main du corps. Les participants attendent un étirement complet de la main pour sélectionner cet emplacement, chose qui est rare dans les signes de notre base de données.

Réf	HC	HN	HF	TC	TN	TF	AF	AN	AC	RC	RN	RF	LC	LN	LF
HC	**371**	98	5	9	29	5	1	2	5	52	27	5	1	0	0
HN	28	**92**	9	4	53	5	0	0	0	4	20	3	1	0	0
HF	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TC	1	0	0	**59**	28	2	0	1	0	5	1	1	1	0	0
TN	14	82	3	13	**546**	34	5	15	2	14	106	6	3	5	2
TF	0	1	0	2	**14**	13	2	2	1	0	1	3	0	0	0
AF	0	0	0	0	2	0	1	**3**	0	0	0	0	0	0	0
AN	1	2	0	4	**43**	2	3	15	1	2	5	2	0	0	0
AC	0	0	0	0	1	0	0	**13**	7	0	0	0	0	0	0
RC	1	**9**	0	3	5	0	0	2	0	5	3	0	0	1	0
RN	3	22	2	3	**90**	7	3	14	0	7	81	9	0	1	1
RF	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0
LC	1	0	0	6	4	0	0	1	0	4	2	0	**15**	7	2
LN	0	0	0	1	**3**	0	0	0	0	0	2	0	2	1	0
LF	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	**3**	1	0

Tableau 6.4 : *Matrice de confusion des emplacements (Les valeurs de sélection maximales sont en caractère gras)*

6.3.2.4.3. Mouvement accompagné :

Le mouvement de la main a été soumis aux mêmes conditions d'étude que la configuration de la main et l'emplacement dans l'espace. Rappelons que nous avons intégré ce critère pour plus de précision pour nos calculs de ressemblances après l'expérience 1, qui a montré que deux critères ne sont pas suffisants pour trouver un signe à partir de ces caractéristiques. Comme nous avons fait pour les deux critères précédents, nous commençons l'étude de ce critère par l'analyse globale des taux de réussite.

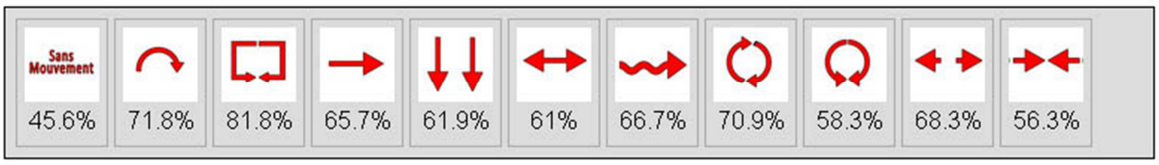


Figure 6.15 : *Pourcentage de réussite des mouvements dans les observations des tests*

Dans la figure 6.15, nous avons des pourcentages très variés, entre 45.6% et 81,8%. Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous nous sommes basés sur deux mouvements principaux : droit et rotation. Les autres mouvements sont des dérivés de ces deux types de mouvements. Ce qui explique cette variété de valeurs. Les participants ont facilement confondu un mouvement droit horizontal et un mouvement courbe sur le même plan. Nous avons aussi un deuxième facteur de cette variété qui est la matrice de dissimilarité. Elle a été initialisée par des valeurs subjectives dans l'attente des valeurs expérimentales.

L'analyse détaillée a montré qu'il y a d'autres facteurs qui influent sur l'état de ce critère.

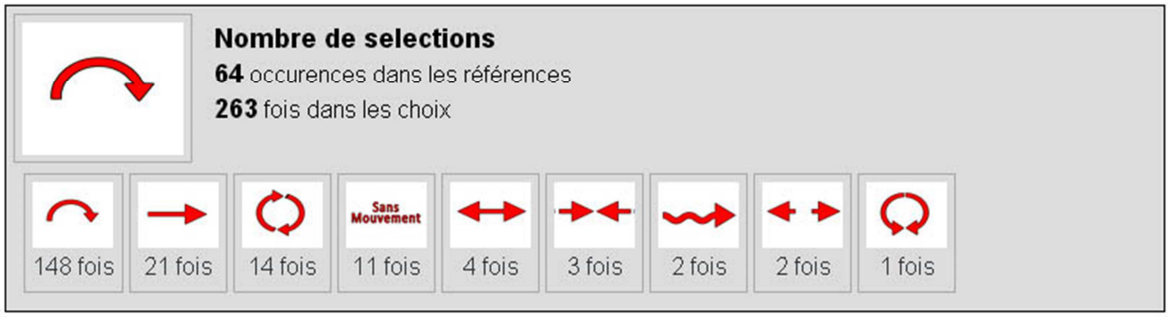


Figure 6.16 : *Fenêtre de l'analyse détaillée Du mouvement de la main (Courbe)*

Sur la figure 6.16, nous avons le cas du mouvement de la main (Courbe). Au total, nous avons 263 sélections de ce type de mouvement, ce qui permet d'ignorer les valeurs entre 4 et 1. Il reste 3 types de mouvements qui ont été confondus avec le mouvement (Courbe).

En ce qui concerne le type de mouvement (Droite), nous avons 21 sélections sur 263 (7.9%). Nous avons remarqué que les deux mouvements sont très proches dans certains signes. Les signes qui exercent un mouvement horizontal sont moins détectés que les signes qui exercent un mouvement vertical ou frontal. Par exemple, le signe DONNER qui se fait par la configuration (33) avec un mouvement (Courbe) vers l'extérieur du corps, a été confondu avec un autre mouvement (Droite) vers l'extérieur du corps dans certaines observations.

Sur la figure 6.31, le mouvement (Rotation), enregistre 14 sélections sur 263 (5,3% des sélections). Ce pourcentage indique un niveau d'ambiguïté très faible, sachant que la cause de cette ambiguïté est le mouvement (Courbe) lui-même, car c'est un dérivé du mouvement (Rotation). Le mouvement (Courbe) est un mouvement semi-rotation, et quand le signeur exerce un signe qui contient ce mouvement, certains participants considèrent le retour de la main à l'état de repos comme une continuité de la rotation, et ils sélectionnent le mouvement (Rotation).

Finalement, pour le type de mouvement 'Sans Mouvement', les participants considèrent parfois l'état de repos de la main comme étant le début de signe.

Le tableau 6.5 montre la matrice de confusion des mouvements de la main. Nous remarquons que les valeurs maximales se concentrent à la diagonale de la matrice. Mais nous

avons aussi une dispersion des valeurs très importante dans les types de mouvements (00, D1, IT et UN).

Réf	00	C0	C4	D1	D2	IT	OD	R1	R2	SP	UN
00	**256**	54	13	141	35	124	25	31	11	23	26
C0	18	**110**	0	30	8	17	2	16	2	9	3
C4	3	0	**3**	2	3	1	2	0	2	1	0
D1	48	27	2	**235**	14	22	13	20	4	18	8
D2	14	7	2	11	**65**	10	6	8	4	0	5
IT	39	15	7	36	7	**170**	30	12	3	7	18
OD	2	4	0	5	2	6	**27**	3	0	0	0
R1	18	12	0	5	8	8	1	**90**	4	3	4
R2	0	1	0	0	1	0	0	0	**8**	3	2
SP	16	3	1	12	13	7	1	16	13	**101**	16
UN	13	4	2	17	12	11	1	12	6	8	**46**

Tableau 6.5 : *Matrice de confusion des mouvements (Les valeurs de sélection maximales sont en caractère gras)*

Les données de la matrice de confusion montrent que le niveau d'intersection et d'ambiguïté dans les mouvements est très important. Mais, d'après les résultats de cette expérimentation, nous remarquons une amélioration des résultats de recherche.

La prochaine phase de cette expérimentation est l'étude de niveau d'influence de chaque critère sur les calculs de dissemblance. Nous avons testé les algorithmes d'apprentissage connus comme le réseau de neurones et les arbres de décision.

6.3.2.5. Application d'autres méthodes de reconnaissance

Pour comparer les résultats de notre méthode, nous avons mis en pratique des programmes classiques de reconnaissance que nous avons appliquée avec les données d'expérimentation.

6.3.2.5.1. <u>Réseau de neurones :</u>

Les réseaux de neurones ont fait leur apparition dans les années 40, par deux scientifiques [*McCulloch-Pitts 43*] dans le but d'imiter le mode de fonction des neurones biologiques à savoir leur capacité :

- De mémoriser des fonctions booléennes simples.
- D'apprentissage

- De traiter les informations incomplètes.

La structure d'un réseau de neurones est caractérisée par une succession de couches dont chacune est divisée en deux parties : entrée et sortie. Une couche de réseau de neurones peut avoir un ou plusieurs neurones (***fig.*** 6.17).

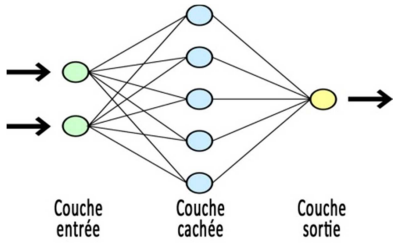


Figure 6.17 : *Représentation graphique d'un réseau de neurones*

Actuellement, plusieurs outils et logiciels sont équipés par l'algorithme de réseau de neurones. Nous pouvons l'adapter selon nos besoins pour le faire fonctionner sur notre système.

Dans les systèmes d'apprentissage, nous définissons trois types d'apprentissage :

L'apprentissage supervisé qui est caractérisé par une base d'apprentissage. Le principe de ce type est d'associer une réponse à un signal d'entrée. L'algorithme essaye de calculer des poids d'apprentissage en fonction des réponses désirées.

L'apprentissage non supervisé : il consiste à ajuster les poids d'apprentissage sans avoir une base de connaissance ou des résultats désirés.

L'apprentissage forcé : il est similaire à l'apprentissage supervisé à la différence que l'algorithme doit savoir si la sortie est bonne ou mauvaise.

Dans cette expérimentation, nous avons décidé d'appliquer les algorithmes d'apprentissage existants et de comparer leurs résultats pour trouver le meilleur qui convient à notre cas. Pour cela, nous avons fait appel au logiciel MatLab qui permet de fournir plusieurs ToolBox (Boite à outils) pour ce type de recherche.

Notons que notre dictionnaire consiste à utiliser l'apprentissage supervisé du fait que nous fournissons les deux données d'entrée et de sortie. Nous avons sélectionné un échantillon de notre base de données (8 signes + 154 observations) que nous avions préparé à l'avance et qui répond aux critères de l'expérimentation, afin d'exécuter l'algorithme dans les meilleures

conditions. (Il n'est pas envisageable dans cette méthode d'utiliser l'ensemble de données complètes qui sont trop volumineux)

La matrice est constituée par l'ensemble des observations codées par les critères des signes. La figure 6.33 montre un extrait du fichier d'entrée. Nous avons 8 valeurs pour chaque entrée. Les deux premières correspondent à la configuration, Les deux suivantes correspondent à l'emplacement, Les deux d'après correspondent au mouvement et les deux dernières correspondent au nombre. Dans l'absence d'un critère nous le remplaçons par un 'null'.

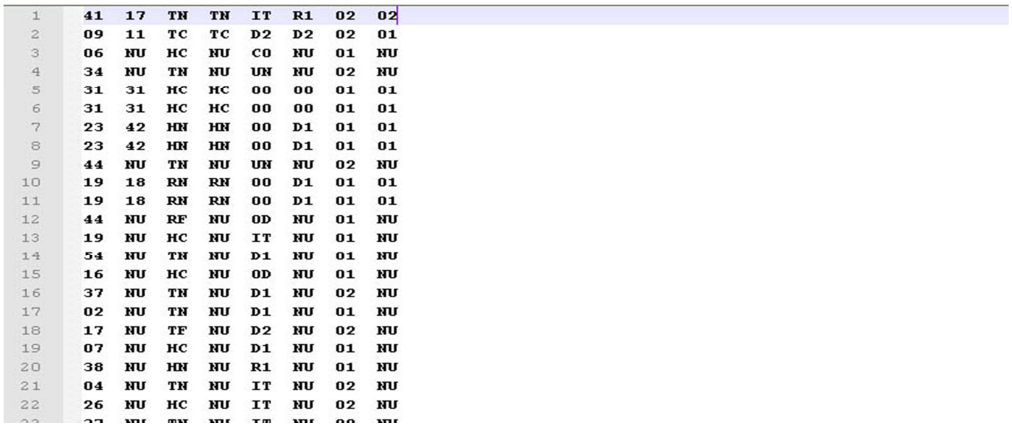


Figure 6.18 : *Fichier d'entrée pour l'algorithme d'apprentissage*

Ensuite le fichier de sortie est constitué de la liste des signes correspondants à chaque ligne d'entrée. Sur Matlab, la sélection de la base d'apprentissage, la base de test et la base de validation se fait en choisissant un pourcentage de données pour chaque base.

Nous avons comparé les résultats de réseau de neurones avec le fichier de sortie que nous avons utilisé, ensuite nous avons calculé le taux de réussite de cet algorithme sur l'échantillon sélectionné. Le taux de réussite ne dépasse pas 50% (49.86%) à chaque fois que nous relançons l'algorithme. L'analyse de la liste fournie par le réseau de neurones montré que l'algorithme tente de classer les signes en se basant sur les valeurs d'entrée. Toutefois, le nombre des éléments de sortie est très grand, et le réseau de neurones propose plusieurs réponses pour la même sortie ; chose que nous essayons d'éviter dans cette recherche. L'objectif est de restreindre au maximum le nombre de réponses pour une entrée donnée. Ces résultats sont illustrés dans l'annexe G.

Après l'utilisation de l'algorithme sur un échantillon de 8 signes répartis sur 154 observations, nous avons décidé de relever le défi, et d'appliquer le réseau de neurones sur la totalité de la base de données. Les résultats de cette expérience sont présentés dans le fichier [Résulats_Réseau_De_Neurones.xlsx]. Le fichier contient la liste des résultats attendus sur la

première colonne (codes des signes), et les propositions du réseau de neurones. Ces derniers sont classés du plus probable vers le moins probable. Le calcul du taux de réussite de ces résultats a donné une valeur très décourageante pour cette méthode de 0,94 %. Nous avons augmenté le champ des résultats jusqu'à 10 colonnes, mais nous n'avons pas dépassé 3,1506 % comme taux de réussite.

Avec 500 signes, le réseau de neurones n'a pas donné des bons résultats, sur lesquels nous pouvons nous appuyer et se développer. Sachant que notre vocabulaire s'enrichit de plus en plus, cette méthode ne va pas être la meilleure approche pour classer les signes de la LSF.

6.3.2.5.2. Arbre de décision :

Un autre outil d'aide à la décision est les arbres de décision. C'est une méthode qui se constitue sous la forme d'un arbre, dont les extrémités présentent les résultats ou les solutions possibles. Le principe des arbres de décision se base sur la réponse à des questions clés, et au fur et à mesure qu'il y a des réponses aux questions posées, le programme filtre les données jusqu'à ce qu'il arrive au résultat final qui représente la décision. Un arbre de décision est caractérisé par le nombre de niveaux ou sommets.

Dans cette expérience, nous avons exploité le logiciel MatLab pour exécuter cet algorithme sur nos données. Nous avons utilisé les mêmes fichiers d'entrée et de sortie que nous avons utilisés dans l'algorithme de réseau de neurones. Les résultats de cette méthode sont présentés dans l'annexe H.

La première remarque que nous avons faite sur les résultats de cette méthode est le nombre de niveaux générés. Nous nous sommes retrouvés avec un arbre de 38 niveaux. C'est le chemin minimal qu'un participant doit suivre pour arriver à la bonne réponse. Le taux de réussite de cette méthode est de 56,27 %. Pour des contraintes d'ergonomie, nous ne pouvons pas utiliser cette méthode pour les raisons suivantes :

- Nombre de niveaux trop élevé. Trop de questions pour un utilisateur pour trouver le bon signe
- L'échantillon utilisé est limité par rapport à la totalité de la base de données. Donc nous aurons plus de niveaux lorsque la base de données sera volumineuse.

6.3.2.6. Vers un modèle d'apprentissage de fonction de dissemblance :

Après l'expérimentation des méthodes d'apprentissage supervisé que nous avons présentés ci-dessus. Nous nous somme dirigés vers une autre méthode de classification. Pour

cela, nous avons décidé de travailler sur les critères de la définition d'un signe. Les résultats de la première phase de cette expérimentation ont indiqué qu'il faut mettre à jour les matrices de dissimilarité au fur et à mesure des expérimentations.

Ainsi, nous avons travaillé sur les matrices de dissimilarité en se basant sur les matrices de confusion. L'objectif est d'ajuster les degrés de dissimilarité afin qu'ils répondent au mieux à la fonction de calcul de dissemblance globale. Autrement dit, cette approche consiste à diminuer la dissimilarité entre les critères ayant obtenu un nombre des sélections important, et à augmenter la dissimilarité des critères ayant reçu un nombre de sélections faible [*Fournier-Cord 02*].

Nous avons travaillé sur une matrice de probabilité basée sur la matrice de confusion pour ajuster les valeurs de la matrice de dissimilarité. Cette mise à jour est contrôlée par les critères suivants :

- La dissimilarité entre le critère lui-même reste inchangeable.
- La dissimilarité reçoit la valeur maximale 1 si le nombre de sélections associé est égal à 0.
- La nouvelle valeur de similarité est calculée ainsi :

$$Nouvelle\ dis(C_i, C_j) = Ancienne\ dis(C_i, C_j) * Probabilité(C_j)$$

Si la probabilité du critère à modifier est supérieure à la probabilité du critère de référence (Nombre de sélections de C_j est supérieur au nombre de sélections deC_i), nous affectons une valeur de 0 pour mentionner la dissimilarité entre les deux critères.

Après la mise à jour des matrices de dissimilarité, nous avons travaillé sur les coefficients d'apprentissage dans la fonction pondérée de calcul de dissemblance.

Vu les contraintes matérielles, et la grande quantité de données à traiter, nous avons pris un échantillon de 600 observations enregistrées dans cette expérience et nous avons appliqué un intervalle de coefficients, tel que :

$$\forall\ \alpha, \beta, \gamma, \delta\ \in R$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$
$$0 \leq \beta \leq 1$$
$$0 \leq \gamma \leq 1$$
$$0 \leq \delta \leq 1$$

Nous avons exploré d'une manière systématique l'espace de nos coefficients pour optimiser les résultats en fonction de ces coefficients. Ensuite, nous avons appliqué la fonction

pondérée de calcul de ressemblance sur toutes les observations. Notons que les coefficients peuvent varier en fonction du nombre d'observations et pourrons être réactualisés après chaque évaluation.

Après chaque évaluation, nous avons enregistré les informations suivantes :

- Le nombre de bons signes dans chaque exécution.
- Les 5 premiers résultats de chaque exécution.

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 5, il y a des signes qui ont la même structure de paramètres dans notre base de données, c'est ce qu'on appelle les homosignes. L'affichage des résultats dans ce cas, est basé sur la fréquence de visite. Nous avons un système de comptage pour les signes recherchés dans notre base de données. Pour certains résultats, nous pouvons classer le bon signe dans la deuxième ou troisième classe selon le nombre d'homosignes. De ce fait, nous avons décidé de prendre en compte les cinq premières réponses.

Le tableau 6.6 montre un échantillon des trente premiers résultats de l'exécution des fonctions pondérées sur les observations sélectionnées. Ils sont triés par ordre décroissant du nombre total des résultats.

C	P	M	N	1er	2nd	3eme	4eme	5eme	1+2	1+2+3	1+2+3+4	Total
0,48	0,24	0,24	0,05	37,93%	11,96%	6,70%	4,30%	3,06%	49,90%	56,60%	60,90%	63,96%
0,45	0,25	0,25	0,05	38,27%	11,56%	6,67%	4,52%	2,97%	49,83%	56,50%	61,03%	63,99%
0,45	0,23	0,23	0,09	37,55%	11,88%	7,12%	4,19%	3,13%	49,43%	56,55%	60,74%	63,87%
0,45	0,27	0,23	0,05	37,79%	11,79%	6,62%	4,15%	3,22%	49,57%	56,20%	60,35%	63,58%
0,43	0,26	0,22	0,09	37,51%	11,26%	7,44%	4,70%	3,05%	48,77%	56,21%	60,91%	63,96%
0,43	0,24	0,24	0,1	38,19%	11,45%	6,99%	4,22%	2,63%	49,64%	56,63%	60,85%	63,48%
0,42	0,26	0,26	0,05	37,88%	11,95%	6,58%	4,11%	3,40%	49,83%	56,41%	60,51%	63,91%
0,42	0,21	0,33	0,04	38,51%	10,97%	6,69%	4,20%	2,57%	49,48%	56,17%	60,37%	62,94%
0,42	0,29	0,21	0,08	35,88%	11,52%	7,84%	4,68%	3,02%	47,39%	55,24%	59,92%	62,94%
0,41	0,27	0,23	0,09	37,83%	11,53%	7,06%	4,35%	3,29%	49,37%	56,42%	60,77%	64,06%
0,4	0,24	0,24	0,12	37,45%	11,19%	7,60%	4,28%	3,08%	48,64%	56,25%	60,53%	63,61%
0,4	0,2	0,32	0,08	38,38%	11,44%	6,90%	3,91%	2,90%	49,82%	56,71%	60,63%	63,53%
0,4	0,25	0,3	0,05	38,80%	11,21%	6,51%	3,53%	2,87%	50,01%	56,52%	60,05%	62,92%
0,39	0,22	0,26	0,13	37,63%	11,48%	7,25%	3,56%	2,98%	49,11%	56,36%	59,92%	62,90%
0,38	0,27	0,23	0,12	37,64%	11,31%	6,99%	4,23%	3,56%	48,95%	55,94%	60,18%	63,74%
0,38	0,27	0,27	0,08	38,72%	11,18%	6,61%	3,80%	3,29%	49,90%	56,50%	60,30%	63,59%
0,38	0,23	0,27	0,12	37,66%	11,85%	7,15%	3,59%	3,27%	49,51%	56,66%	60,26%	63,53%
0,38	0,19	0,31	0,12	37,95%	11,10%	7,06%	4,30%	2,76%	49,05%	56,10%	60,40%	63,16%
0,38	0,19	0,35	0,08	38,22%	11,36%	6,24%	4,86%	2,44%	49,57%	55,81%	60,67%	63,11%
0,37	0,26	0,26	0,11	37,42%	11,34%	7,89%	3,87%	3,19%	48,76%	56,65%	60,51%	63,70%
0,37	0,26	0,26	0,11	38,04%	11,34%	6,93%	3,87%	3,35%	49,38%	56,31%	60,18%	63,53%
0,37	0,22	0,3	0,11	37,82%	11,45%	7,31%	3,46%	3,13%	49,27%	56,58%	60,05%	63,18%
0,37	0,26	0,3	0,07	38,94%	10,81%	6,69%	3,72%	2,97%	49,75%	56,44%	60,16%	63,13%
0,35	0,26	0,3	0,09	38,44%	10,91%	6,54%	4,07%	3,16%	49,35%	55,89%	59,97%	63,13%
0,35	0,31	0,27	0,08	37,69%	11,60%	6,80%	3,96%	2,87%	49,29%	56,09%	60,05%	62,92%
0,34	0,28	0,28	0,1	37,48%	11,07%	7,57%	3,98%	3,06%	48,55%	56,12%	60,10%	63,16%
0,33	0,27	0,27	0,13	36,74%	11,52%	7,12%	4,43%	3,13%	48,26%	55,38%	59,81%	62,94%
0,33	0,28	0,28	0,11	36,81%	11,60%	7,55%	3,80%	2,87%	48,40%	55,96%	59,76%	62,63%

Tableau 6.6 : *Tableau trié des résultats des fonctions pondérés*

Dans le tableau, nous avons les valeurs des coefficients utilisées à gauche du tableau, il y a cinq colonnes au milieu pour indiquer le pourcentage de bonnes réponses de chaque formule sur les cinq premiers classements, et à droite nous avons le pourcentage total de bonnes observations sur un échantillon de 6000 observations. Notons ici que nous parlons des réponses exactes, nous ne gérons pas les réponses proches.

La première remarque indique que le maximum de bonnes réponses est positionné dans le premier classement. Cela signifie que les trois critères choisis dans cette expérimentation sont suffisamment capables de donner de bons résultats.

Parmi les 30 premières formules, 13 formules reçoivent un coefficient supérieur à 0.4 pour la configuration de la main. C'est exactement ce que nous supposions avant de lancer cette expérimentation. En comparaison avec les dernières formules, nous pouvons conclure que

le poids de la configuration de la main influe beaucoup sur les résultats de la fonction de calcul. Par ailleurs, l'emplacement de la main et son mouvement ont le même degré d'influence avec un léger avantage du mouvement de la main dans certains signes. L'annexe I affiche plus de résultats sur l'exécution des formules pondérées.

L'évaluation des résultats finaux de cette expérimentation nous ont permis de proposer une stratégie d'autocorrection des signes. Cette stratégie se base essentiellement sur les retours des utilisateurs. En effet, nous avons constaté qu'un signe n'a pas forcément qu'un seul codage mais il peut en avoir plusieurs. Pour cela, nous prenons en compte le codage des utilisateurs dans le cas où il y a une répétition systématique de ce codage pour le signe concerné.

Pour conclure cette partie, notre plate-forme se base sur un système d'apprentissage à long terme. La mise à jour des matrices de dissimilarité demande beaucoup d'observations et d'annotations. Dans cette expérimentation, nous avons montré l'effet de l'intégration du mouvement de la main sur les résultats sans affecter les contraintes ergonomiques que nous nous étions fixées au début de ce travail de recherche. La configuration de la main joue un rôle important dans la discrimination des signes, puisque les résultats obtenus montrent qu'elle représente le critère le plus discriminant.

6.3.3. Expérimentation 3 : Différence entre les participants pratiquants de la LSF et les participants non pratiquants de la LSF.

6.3.3.1. Problématique : y-a-t-il une influence majeure de la pratique de la LSF sur les résultats des recherches ?

Notre objectif principal dans cette étude est de concevoir un système de recherche des signes sous la forme d'un dictionnaire inversé pour toutes les personnes qui souhaitent apprendre la LSF et acquérir un bon vocabulaire. Nous rappelons ici que nous sommes face à deux langues de structures différentes, ce qui atténue l'impact du bilinguisme qui affecte les langues orales lors de l'apprentissage.

Le but de cette expérimentation est de mesurer l'impact de la pratique de la LSF sur les résultats de notre système. Nous voulons connaître la marge de différence entre les participants qui n'ont pas un contact direct ou quotidien avec la LSF, et les participants qui ont pratiqué cette langue.

6.3.3.2. Hypothèses :

Notre système est destiné à toutes les personnes ayant la volonté d'apprendre le vocabulaire de la LSF. Cette volonté peut venir à la suite d'un contact direct avec des personnes sourdes dans le milieu professionnel ou familial. En effet, lorsqu'on est face à une telle situation, il devient indispensable d'acquérir un bagage linguistique de la LSF avec un vocabulaire assez riche. En effet, tout comme n'importe quel dictionnaire, notre dictionnaire inversé de la LSF est à la disposition de tout le monde. Un dictionnaire peut être utilisé par un enseignant comme par un étudiant.

Notre objectif est de fournir un outil simple et robuste, capable de répondre aux demandes des différents profils des personnes. Le système que nous avons installé prend en considération cette diversité, et nous attendons que notre plate-forme affiche des résultats similaires pour tous les participants.

6.3.3.3. Méthode et résultats :

Durant cette expérience, nous avons pris les mêmes observations de l'expérience 1. Sachant que nous avons enregistré les deux taux en même temps : le taux de réussite des signes et le taux de réussite des participants. Nous avons deux catégories des participants : des pratiquants de la LSF et des non pratiquants de la LSF. Parmi 36 participants, nous avons 5

participants qui pratiquent la LSF, 22 participants qui ont des connaissances de la LSF et 9 participants qui n'ont jamais eu un contact avec la LSF (***fig*** 6.19).

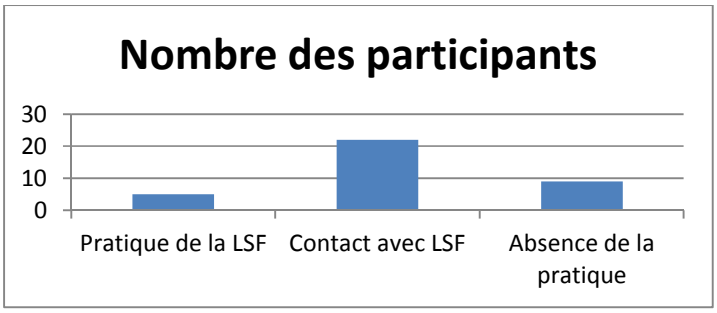


Figure 6.19 : Répartition des participants selon leurs niveaux de la pratique de la LSF

Participant	Niveau de LSF	Taux de réussite
Participant 1	Bon	94,10%
Participant 2	Bon	89,50%
Participant 3	Nul	88,60%
Participant 4	Nul	88,10%
Participant 5	Bon	93,30%
Participant 6	Moyen	93,80%
Participant 7	Nul	92,60%
Participant 8	Moyen	71,00%
Participant 9	Moyen	80,00%
Participant 10	Moyen	87,50%
Participant 11	Nul	79,00%
Participant 12	Moyen	86,00%
Participant 13	Moyen	88,00%
Participant 14	Moyen	71,80%
Participant 15	Bon	89,60%
Participant 16	Nul	84,40%
Participant 17	Moyen	84,30%
Participant 18	Moyen	75,50%
Participant 19	Moyen	80,50%
Participant 20	Moyen	88,00%
Participant 21	Moyen	68,00%
Participant 22	Moyen	87,40%
Participant 23	Nul	87,10%
Participant 24	Moyen	84,30%
Participant 25	Moyen	88,50%
Participant 26	Moyen	84,60%
Participant 27	Nul	69,60%
Participant 28	Nul	88,20%
Participant 29	Moyen	83,40%
Participant 30	Moyen	87,00%
Participant 31	Moyen	80,70%
Participant 32	Moyen	85,10%
Participant 33	Moyen	90,40%
Participant 34	Moyen	88,70%
Participant 35	Nul	84,50%
Participant 36	Bon	93,00%

Table 6.7 : Pourcentage de réussite des participants dans l'expérimentation 3 selon leur niveau de pratique de la LSF

Dans cette expérience, nous avons divisé les observations de chaque participant en deux parties : la première partie contient les dix premières observations que nous n'avons pas pris en compte dans cette expérimentation, car il s'agit de leur premier contact avec notre plate-forme. En effet, étant donné que cette première partie représente une phase d'apprentissage d'utilisation de l'interface, nous avons préféré de ne pas le prendre en compte pour ne pas introduire des erreurs d'utilisation de l'interface. La deuxième partie contient le reste des observations que les participants ont effectuées avec un niveau acceptable d'utilisation de notre interface. Le tableau 6.7 présente les résultats de cette expérimentation.

Pour simplifier l'explication de cette expérimentation, nous allons nommer les participants selon leurs niveaux de la manière suivante : participants de niveau 0, participants de niveau 1 et participant de niveau 2.

Nous remarquons dans ce tableau que :

- La moyenne du taux de réussite des participants de niveau 2 est : **91,90%**
- La moyenne de taux de réussite des participants de niveau 1 est : **83,39%**
- La moyenne de taux de réussite des participants de niveau 0 est : **84,68%**

D'après ces valeurs, la différence entre le minimum de la moyenne et le maximum de la moyenne ne dépasse pas 8,51%. Cette valeur indique que le niveau de connaissance n'a pas beaucoup d'influence sur le taux de réussite des participants lors de l'utilisation de notre plate-forme. Également d'après ces moyennes, nous avons un taux de réussite des participants de niveau 0 qui est supérieur à la valeur des participants de niveau 1. Ce résultat est dû au phénomène d'apprentissage chez les participants de niveau 0. Ces derniers ont un nombre d'observations plus élevé que les autres. Ce qui explique un niveau d'adaptation et d'expérience très important. Le nombre d'observations a permis au participant de niveau 0 d'améliorer leurs résultats par rapport aux résultats des participants de niveau 1.

6.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé le mécanisme suivi dans cette recherche pour calculer d'une manière scientifique, ainsi que expérimentale la dissemblance entre une perception subjective d'un utilisateur et les critères relatifs d'un signe saisi dans notre dictionnaire.

D'une part, notre outil de recherche propose à un utilisateur débutant ou avancé en LSF, une interface guidée et une démarche personnalisée pour trouver la signification d'un geste de LSF en français. Rappelons aussi que les résultats sont présentés dans un mur de mots qui permet d'offrir une vue globale des signes qui peuvent répondre aux choix de l'utilisateur selon des différents degrés de ressemblance.

D'autre part, nous avons présenté un système basé sur de données expérimentales et un algorithme de classification des signes capable de modifier et d'ajuster ses propres coefficients au fur et à mesure de l'utilisation.

Dans cette expérimentation, nous avons pu réaliser un compromis entre l'efficacité des résultats et l'ergonomie des interfaces par l'utilisation de trois paramètres de la LSF. Nous avons montré aussi qu'il y a une interactivité entre le système et les participants. Le système met à jour ses formules et les matrices de calcul, les participants améliorent leurs scores au fur et à mesure de l'utilisation. Tout ça dans le but de présenter un outil efficace de la recherche d'un signe de la LSF à partir de ses paramètres.

En revanche, malgré les très bons résultats pour les utilisateurs débutants en LSF, nous avons remarqué une carence de précision pour les résultats chez les utilisateurs avancés en LSF. Pour cela nous avons pensé à un système auto-adaptatif capable de changer la méthode de calcul en fonction des résultats obtenus par rapport au codage de référence et l'adapter au profil de l'utilisateur.

Chapitre 7 : APPRENTISSAGE DES SIGNES ET TRAITEMENT DES PROFILS DES UTILISATEURS

7.1. Introduction

La variation des résultats chez les différents utilisateurs de notre système nous a poussé à améliorer la performance de notre algorithme pour avoir plus de précision dans les résultats des requêtes. Pour cela, chaque profil d'utilisateur a été traité selon son niveau en LSF.

Dans ce chapitre nous allons expliquer une nouvelle approche d'exploitation des données expérimentales que nous avons utilisée. Cette approche s'appuie sur le niveau de précision dans les requêtes effectuées par les utilisateurs durant les deux expérimentations précédentes (présentées dans le chapitre 6). Ainsi nous avons d'abord analysé les informations liées à chaque codage en établissant sa grille de signes. Ensuite, nous avons appliqué un apprentissage des signes en se basant sur les codages enregistrés.

7.2. Approche globale

Dans les chapitres antérieurs, nous avons utilisé des méthodes d'apprentissage et de reconnaissance basées sur une approche de comparaison indépendante des critères de codification d'un signe.

Rappelons que les mesures de dissemblance sont calculés à partir des caractéristiques de représentation que nous avions défini (configuration de la main, mouvement, emplacement, nombre de mains). Ces caractéristiques sont codées et concaténées en fonction du nombre de configurations qui forment un signe donné. L'apprentissage est fait en utilisant des coefficients d'apprentissage que nous avons intégrés dans le calcul de la mesure de ressemblance. Ces coefficients sont dynamiques et peuvent être ajustés au fur et à mesure que le nombre d'expérimentations augmente.

Pour rappel le calcul de la mesure de dissemblance se fait via la relation suivante [précédemment donnée à la page 96] :

$$DIS(S_{ref}, S_{user}) = \sum_{i=1}^{2} \alpha\left(dis(C_{ref(i)}, C_{user(i)})\right) + \beta\left(dis(P_{ref(i)}, P_{user(i)})\right) + \gamma\left(dis(M_{ref(i)}, M_{user(i)})\right) + \delta\left(dis(N_{ref(i)}, N_{user(i)})\right)$$

Les résultats obtenus précédemment semblent satisfaisants étant donné le faible nombre d'éléments de caractérisation employé et la proximité, voire l'équivalence, de quelques signes dans l'espace de représentation comme nous avions pu le constater dans la matrice de confusion [Annexe F]. Cependant une analyse plus fine des résultats expérimentaux obtenus nous a permis de comprendre l'origine de quelques sources d'erreurs que nous proposons de corriger dans cette partie en utilisant une méthode de calcul globale basée sur le signe.

Une des erreurs les plus fréquentes vient du fait de l'ignorance d'une des configurations qui peuvent constituer un signe. Ainsi nous avons constaté que, les sujets ont tendance à minimiser la description du signe en ignorant une des configurations (bien souvent ils déclarent seulement la dernière). C'est ainsi qu'en utilisant la méthode de calcul antérieur, si nous comparons la premier partie du signe (i =1) avec un signe qui comporte deux configurations le résultat peut être « rattrapable » s'il n'y a pas d'autres signes proches à cette première configuration. Tandis que si le calcul se fait avec i=2 comparé avec i=1, le résultat sera forcément erroné.

Prenons l'exemple du signe 'BLANC' (***fig*** 7.1).



Figure 7.1 : Séquence de vidéo pour le signe 'BLANC'

Le signe 'BLANC' est un signe composé de deux configurations. La main fermée colée au cou du signeur qui change sa forme vers une main ouverte durant le signe. La figure 7.2 montre le codage de ce signe dans la base de données. Nous avons la configuration 35 qui se transforme en configuration 38 par un mouvement droit vers l'extérieur du corps.

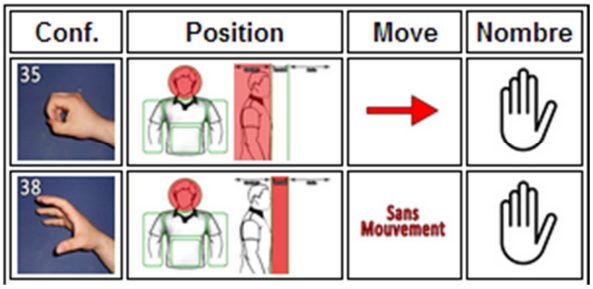


Figure 7.2 : Représentation graphique du codage pour le signe 'BLANC'

Le signe 'BLANC' est codé de la manière suivante :

[38-HN-00-01-35-HC-D1-01]

Si l'usager déclare :

[35-HC-D1-01]

Le résultat obtenu correspondra à la comparaison entre :

[35-HC-D1-01] ET [38-HN-00-01]

Et la dissemblance risque d'être importante, d'où une source d'erreurs expliquée.

Ces erreurs sont plus fréquentes parmi les apprentis de la LSF que parmi les experts, mais nous considérons que les futurs utilisateurs de cette application seront bien plus souvent des apprentis que des experts, ainsi le système peut être programme pour s'adapter en fonction de niveau de l'utilisateur.

Dans ces conditions et dans la mesure où nous avons un nombre important de résultats expérimentaux, nous pouvons tester l'hypothèse d'apprentissage et de reconnaissance que nous allons décrire plus loin, en prenant en considération la référence globale de chaque signe ensuite nous testons les résultats pour vérifier si ces derniers s'améliorent.

Cette hypothèse n'a pas vraiment de fondement théorique. En effet, elle s'appuie plus sur les résultats expérimentaux que sur la définition correcte du signe, mais si les résultats sont probants, les données ainsi obtenus pourront être utilisés dans un apprentissage personnalisé.

Notons qu'il serait possible d'adapter la méthode utilisée au type d'utilisateur pour apporter les meilleurs résultats en fonction des besoins et compétences de ce dernier.

7.3. Description de la méthode :

À ce stade, nous sommes arrivés à 6775 enregistrements dans la base de données, que nous considérons suffisant pour appliquer le processus d'apprentissage. Rappelons que chaque enregistrement contient un codage et un signe. Rappelons aussi que l'utilisateur code le signe en se basant sur la vidéo de ce dernier sans savoir le codage de la base de données. Dans cette phase, nous avons effectué une étude inversée en commençant par les signes et nous avons tout en analysons le comportement de ces derniers selon les codages affectés.

Nous avons vu que nous disposons d'un ensemble dictionnaire test (T) de mots référenciés qui ont servi aux expérimentations. Card(T)= 500. T est un sous ensemble de l'ensemble du dictionnaire complet D « LSF sur le Web » qui comporte actuellement 2500 signes. A terme T devrait augmenter en fonction des référencements des mots de D (chapitre 8).

H est l'ensemble des réponses obtenues dans les expérimentations card(H) = 6775.

Par ailleurs notre espace de représentation Ω (une seule configuration) est calculé de la manière suivante :

$$Card\ (\Omega) = C*P*M*N = 59*15*11*2 = 19470$$

Cependant l'ensemble T est constitué de 464 codages différents (Annexe K), alors que dans les expérimentations 2501 codages différents sont générés par les utilisateurs (Annexe L). Au total 2531 codages différents utilisés dans la totalité de la base de données en fusionnant les codages des signes avec ceux des expérimentations. Statistiquement nous utilisons 13 % des codages de notre espace de représentation.

Pour expliquer ce mécanisme, nous prenons l'exemple du codage [41-TN-SP-02]. Il s'agit d'une configuration de la main en forme plate qui s'effectue au niveau du torse par deux mains en mouvement de séparation. Ce codage est présent dans six signes dans la base de données. En revanche, nous avons enregistré 64 apparitions de ce codage sur 12 signes différents. Le tableau 7.1 présente la répartition de ce codage dans la base de données. Nous remarquons qu'il y a deux signes qui sortent avec une fréquence importante avec ce codage (32 fois) : (18 fois)'JOUR' et (14 fois)'FRANC'. Cela indique que nous avons une forte possibilité pour que le codage donné corresponde à l'un de ces deux signes.

Signes	Codage	Expérimentations
Franc (Honnête) Jour Livre Nager Natation Sauvage	[41-TN-SP-02]	Jour (18) Franc (14) Simple (6) Livre (4) Nager (4) Natation (4) Sauvage (4) Tant pis (4) Bibliothèque (2) Divorce (2) Verglas (1) Vierge Marie (1)

Tableau 7.1 : *Répartition du codage [41-TN-SP-02] dans la base de données*

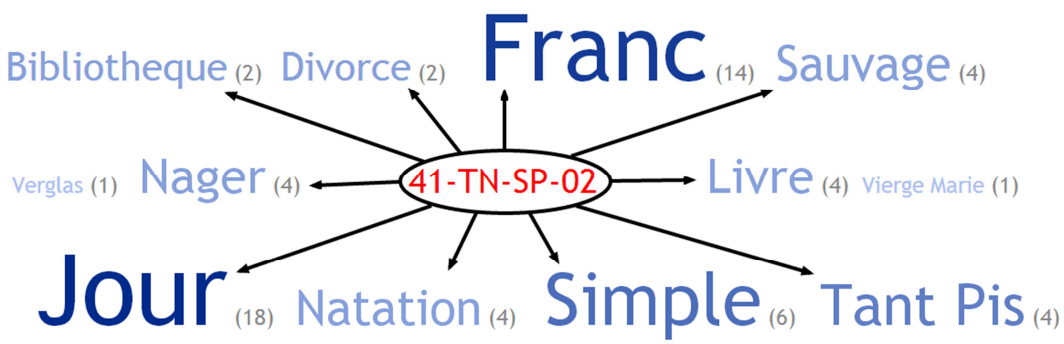


Figure 7.3 : *Fréquence des signes pour le codage [41-TN-SP-02] sous la forme d'un nuage de mots*

La figure 7.3 montre le nuage des signes généré par le codage [41-TN-SP-02] et qui est basé sur la fréquence de chaque signe. Les signes 'JOUR' et 'FRANC' sont représenté avec une taille de police très grande par rapport aux autres signes.

Cette démarche est effectuée pour tous les codages de la base de données pour établir une grille globale afin de l'exploiter dans l'apprentissage des signes.

7.3.1. Phase d'apprentissage

Comme nous l'avions expliqué dans la section précédente, nous pouvons formaliser notre expérimentation par une application :

$$h : T \rightarrow \Omega$$

Cette application fait correspondre à chaque vidéo représentant un signe de T, un élément de Ω choisi par l'usager lors de l'expérimentation. Cette application nous permet d'établir un tableau d'apprentissage statistique de l'ensemble T. Il s'agit de l'ensemble des codages affectés au même signe.

Nous pouvons ainsi construire un tableau Ω*. Dans chaque élément de Ω*, nous aurons:

- Soit aucune occurrence (personne n'a affecté un signe à cette référence).
- soit un seul signe avec n occurrences.
- soit i signes avec ni occurrences chacun qui seront triés par le nombre d'occurrences.

Le tableau 7.1 présente un extrait du tableau global d'apprentissage. Nous avons la première colonne qui indique le codage, puis nous avons des couples de colonnes. Chaque couple de colonnes contient le code du signe et le nombre d'occurrence du signe pour un codage donné. Ce tableau a pour but d'établir un adressage des codages afin de référencier les signes d'une manière plus rapide.

Codage	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB
41-TN-SP-01	287	2	286	2	446	2	242	1	108	1	457	1	349	1	472	1	497	1	550	1				
38-TN-00-02	526	5	396	4	325	3	160	2	69	2	532	2	507	1	554	1	416	1	541	1	137	1		
38-TN-IT-02	540	6	531	4	69	4	112	3	86	2	160	1	532	1	273	1	154	1	541	1				
38-TN-SP-02	404	12	405	10	154	2	251	2	91	2	121	2	119	1	145	1	177	1	540	1	69	1		
43-TN-C0-02	226	5	409	5	215	3	460	3	546	2	342	1	187	1	289	1	535	1	461	1				
41-TN-UN-02	362	8	538	7	504	7	547	6	361	6	412	5	416	3	306	2	99	2	446	2	23	2	409	1
41-TN-IT-02	415	7	395	7	277	6	306	5	266	5	538	3	99	3	351	2	412	2	367	1	147	1	446	1
41-TN-D1-01	23	1	327	1	108	1	21	1	332	1	544	1	252	1	504	1	45	1	335	1	446	1	226	1
48-TN-00-01	47	9	48	7	45	6	49	5	159	1	243	1	51	1	275	1	42	1	261	1	402	1		
17-TN-IT-02	496	7	508	6	88	4	305	4	477	3	280	2	350	2	441	1	99	1	240	1				
43-TN-D1-01	328	4	445	4	202	2	35	2	126	2	161	1	291	1	21	1	327	1	240	1	226	1	39	1
06-HC-D1-01	512	9	139	8	228	7	314	7	294	7	181	6	175	5	253	4	330	4	193	3	194	3	59	2
48-TN-D2-02	552	8	258	7	326	5	421	4	434	4	18	2	516	1	475	1	470	1	157	1				
48-TN-IT-02	326	5	137	3	470	2	159	2	257	2	261	2	325	1	266	1	106	1	112	1				
33-HC-00-01	546	8	87	7	547	4	497	4	124	4	535	2	254	1	106	1	315	1	102	1	363	1		
41-TN-SP-02	242	14	286	10	287	8	457	6	306	4	550	4	446	4	351	4	349	4	99	2	198	2	497	1
48-TN-00-02	157	7	258	4	149	3	275	3	396	2	541	2	121	1	519	1	406	1	18	1	325	1	342	1

Tableau 7.2 : *Extrait du tableau global d'apprentissage*

Le tableau Ω* peut être dynamique et enrichir par les usages (de préférence il faut qu'il soit filtré et validé pour continuer à assurer la fiabilité des résultats).

Nous avons appliqué l'apprentissage sur le tableau Ω* selon trois protocoles :

7.3.1.1. L'apprentissage sur la totalité du tableau :

Dans ce cas nous avons pris tous les éléments du tableau Ω* comme éléments d'entrée et nous les avons comparé avec les éléments de sortie du même tableau. La base d'apprentissage est elle-même la base de test.

Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
Nombre	5360	1669	748	398	231	131	74	48	36	21	15	8	5	3	3	3	2	2	8757
Pourcentage	61,21	19,06	8,54	4,54	2,64	1,5	0,85	0,55	0,41	0,24	0,17	0,09	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	100
	61,21	**80,27**	**88,81**	**93,35**	**95,99**														

Tableau 7.3 : *Apprentissage sur toute la base de données*

Le tableau 7.3 montre le résultat de l'apprentissage sur tous les signes de la base de données. Nous avons 8757 codages. Notons que ce nombre contient plusieurs occurrences du même codage. Nous avons enregistré le nombre de réponses pour chaque classement. C'est-à-dire le nombre de réponses situées en première classe, le nombre de de réponses dans la deuxième classe et ainsi de suite jusqu'à la classe 18. Ensuite, nous avons calculé le pourcentage de chaque classe en ajoutant le nombre des réponses des classes précédentes. Dans le tableau 7.3 nous avons 61,21 % de bonnes réponses dans la classe 1 (case grise). Puis nous avons 80,27 % de bonnes réponses pour la somme des deux classe 1 et 2 jusqu'au 95,99 % de bonnes réponses pour la somme des 5 premières classes (case verte foncée).

Les résultats de ce protocole d'apprentissage sont très encourageants. Sachant qu'il y a dans la base de données des codages uniques (codage avec une seule réponse), nous avons réappliqué l'apprentissage sur la même base de données sans les cas uniques. Cette manipulation permet d'éviter les cas de figures qui peuvent influer sur nos résultats. Le tableau 7.4 présente le résultat final de ce type d'apprentissage. Nous avons 7496 codages cette fois-ci. Nous remarquons qu'il y a une différence de résultats pour la première classe (50,68 % contre 61,21 %) mais le résultat final reste très proche et similaire au résultat obtenu avec le premier apprentissage (95,32 %).

Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
Nombre	4099	1669	748	398	231	131	74	48	36	21	15	8	5	3	3	3	2	2	**7496**
Pourcentage	54,68	22,27	9,98	5,31	3,08	1,8	0,99	0,64	0,48	0,28	0,2	0,11	0,07	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	7496
	54,68	**76,95**	**86,93**	**92,24**	**95,32**														

Tableau 7.4 : *Apprentissage sur toute la base de données sans les cas uniques de codages*

7.3.1.2. L'apprentissage sur la moitié de la base de données :

Après avoir testé l'apprentissage sur la totalité de la base de données, nous sommes passés au deuxième protocole de cette phase qui porte sur la division de la base de données en deux parties : base d'apprentissage et base de test et cette dernière comme base d'apprentissage. Durant cette phase nous avons appliqué deux règles :

- La taille des deux bases doit être plus au moins identique.
- Tous codage doit exister dans les deux bases.

Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
Nombre	2696	541	240	119	59	40	14	13	8	5	4	1	1	1	1	0	0	0	**3743**
Pourcentage	72,03	14,45	6,41	3,18	1,58	1,07	0,37	0,35	0,21	0,13	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0	0	0	
	72,03	**86,48**	**92,89**	**96,07**	**97,65**														

Tableau 7.5 : *Apprentissage sur la base de test.*

Comme l'indique le tableau 7.5, nous avons 3743 codages de test avec un apprentissage sur 3753 codages. Nous avons procédé de la même manière que pour le premier protocole et nous avons obtenu un résultat final de 97,65 % comme taux de réussite sur cinq classes. Ce résultat montre que la procédure d'apprentissage est belle et bien fonctionnelle sur une partie de la base de données avec une légère amélioration de 2 %.

7.3.1.1. L'apprentissage croisé :

Ce protocole présente l'apprentissage croisé des signes dans la base de données. Il s'agit de considérer la base d'apprentissage du deuxième protocole comme une base de test et la base qui a joué le rôle de base de test sera la base d'apprentissage. Ce protocole permet d'estimer la fiabilité de notre modèle et de valider notre méthode d'apprentissage des signes. Le tableau 7.6 présente les résultats de ce protocole. Nous avons un résultat final presque identique à celui du deuxième protocole (97, 34 %).

Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
Nombre	2639	583	233	123	75	29	29	13	9	2	3	13	1	1	0	0	0	0	**3753**
Pourcentage	70,32	15,53	6,21	3,28	2	0,77	0,77	0,35	0,24	0,05	0,08	0,35	0,03	0,03	0	0	0	0	
	70,32	**85,85**	**92,06**	**95,34**	**97,34**														

Tableau 7.6 : *Apprentissage sur la base d'apprentissage.*

Nous constatons que les résultats des trois protocoles sont très proches. De même, le taux de réussite est très élevé par rapport à l'approche du chapitre 6. Ces taux de réussite supérieurs sont vraisemblablement dus à deux facteurs : d'une part l'apprentissage est effectué d'une manière expérimentale sur des données d'utilisateurs qui correspondent à leurs profils. D'autre part, le tableau global d'apprentissage a été filtré et nettoyé des éléments parasites qui auront pu influer sur l'application de cette approche.

7.3.2. Phase de reconnaissance

Lors de la phase de reconnaissance d'un signe, l'usager établi une configuration (C, P, M, N) qui correspondra à une adresse du tableau Ω *.

A cette adresse nous pouvons trouver :

- Soit aucune occurrence. Il se peut qu'il corresponde à un signe qui n'a pas été codé dans le dictionnaire ou à une erreur de codage. Dans ce cas, il convient de le mémoriser et il est possible de lancer la procédure de calcul des mesures de dissemblance décrites dans le chapitre 6 pour donner le résultat correspondant.
- Soit nous trouvons un seul signe. Ce signe devra figurer comme prioritaire au niveau de la reconnaissance (même si la procédure de mesure des dissemblances habituelle est aussi déclenchée pour apporter d'autres résultats possibles dans le «mur»).
- Soit nous trouvons i signes et les résultats correspondront au tri qui figure dans cette adresse du tableau Ω*.

7.4. Application pédagogique

L'un des résultats inattendus de cette expérimentation est que les erreurs de codification des utilisateurs sont assez systématiques par exemple l'utilisation de la dernière configuration à la place de la première configuration dans les signes composés de deux configurations, il y a aussi certaines configurations qui absorbent des configurations plus subtiles… La différence des résultats par rapport à l'évaluation du codage exactes des signes est trop important (Si nous nous basons sur la configuration exacte on obtient 64 % de bonnes

réponses dans les cinq premiers signes. En revanche l'apprentissage extrait des usagers donne un résultat de 95 % dans les premiers signes tant que dans les cinq premiers). Bien que ceci puisse être considéré comme peu orthodoxe ces résultats peuvent être utilisés d'une manière très positive dans un contexte d'apprentissage en montrant les bons codages une fois que l'utilisateur trouve le signe cherché.

Par exemple nous avons l'exemple du signe BLANC



Figure 7.7 : *Signe BLANC [IVT]*

Ce signe est composé de deux configurations de la main. Il commence par une main fermée à côté du cou qui s'éloigne ensuite vers l'extérieur en ouvrant les doigts. Le codage de ce signe dans notre base de données est celui-ci :

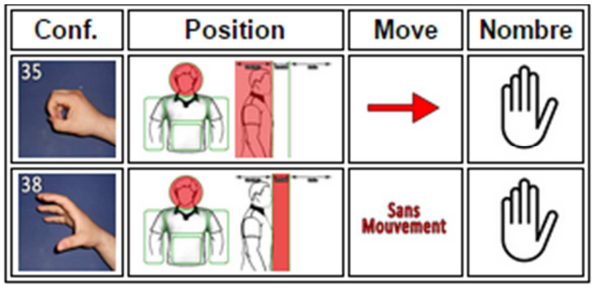


Figure 7.8 : *Codage du signe BLANC dans notre espace de représentation*

Nous avons constaté que plusieurs utilisateurs cherchent ce mot en faisant le codage suivant :

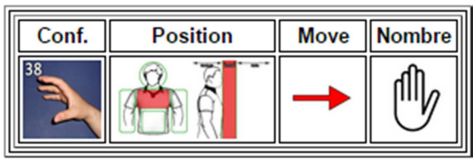


Figure 7.9 : *Codage fréquent des utilisateurs peu expérimentés pour le signe BLANC*

Les mots les plus proches de ce code sont

38-HC-D1-01 :

Col roulé ;
Triste ;
Sérieux ;
Blanc ;
Chaud ;
Haricot Blanc ;
Baleine ;
Crapaud.

L'utilisateur montre le mot trouvé et nous lui montrons le bon code en lui renvoyant la vidéo pour qu'il puisse nous faire le bon codage, il ne sera pas enregistré pour ne pas faire converger le système vers les codages de référence et pour ne pas biaiser l'apprentissage des erreurs.

7.5. Conclusion

Nous avons testé une autre approche qui s'adapte aux utilisateurs habituels de la plateforme. Cette approche ne permet pas l'analyse de plusieurs configurations dans un signe, cependant elle permet de corriger des erreurs de confusion de l'ordre dans les configurations. Ces erreurs sont fréquentes pour les consultants non experts.

Dans le cas où il n'y aurait pas de résultat, pour remplir le « mur » il est toujours possible d'utiliser la méthode de calcul des dissemblances.

Par ailleurs, il est tout à fait possible d'adapter la méthode de calcul de reconnaissance à l'usager en fonction de son profil qui peut être mémorisé.

Chapitre 8 : ENRICHISSEMENT AUTOMATIQUE DU DICTIONNAIRE INVERSE

8.1. Introduction

La construction manuelle d'un dictionnaire de LSF représente une tâche lourde, longue, et pénible. Le codage entièrement automatisé du vocabulaire de la LSF à partir de sources de vidéos existantes n'est pas une démarche facile à effectuer, ce qui explique le fait que ce travail reste à un stade préliminaire. Par ailleurs, un codage de ces signes pour la construction d'un dictionnaire complet avec la participation des internautes, peut être une démarche assez limitée pour plusieurs raisons. Parmi ces raisons, nous citons :

- L'absence de références et la diversité culturelle des internautes.
- La non unicité du codage des signes. Parfois, les signes ont plusieurs codages possibles.
- La présence d'homosignes qui s'explique par l'ambiguïté visuelle présente dans certain signes, ce qui pose un réel problème, puisqu'il devient difficile ou même impossible de différencier entre certain signes en se basant seulement sur la perception visuelle ou par les limites associés à l'espace de représentation.
- Le non-respect des règles de normalisation qui peut se produire lorsque les pratiquants de la LSF affichent une certaine subjectivité de distinction des paramètres d'un signe.

Dans ce chapitre, nous proposons une autre approche d'enrichissement automatique basée sur les requêtes des utilisateurs de notre plateforme. Cette approche s'appuie sur leurs niveaux de pratique de la LSF ainsi que sur leurs taux de réussite dans le codage des signes dans notre système. Pour ce faire, nous nous sommes inspirés de la technique de Crowdsoursing qui permet de distribuer un travail sur un grand nombre de personnes en sous-traitence, pour effectuer certaines tâches traditionnelles effectués par un individu [Daren 08].

8.2. Approche proposée

Après avoir validé notre algorithme sur 500 signes, nous avons décidé de mettre en place un protocole qui permet d'élargir le champ de recherche et d'agrandir la taille de la base de données - d'une manière automatique et intelligente - en fonction de l'utilisation. Cette démarche consiste à élargir le vocabulaire de notre dictionnaire en l'enrichissant par des nouveaux signes. Le système construit alors automatiquement un profil personnalisé pour chaque utilisateur capable de calculer son niveau de crédibilité dans le codage des signes. La figure 8.1 présente l'architecture du système correspondant à cette approche.

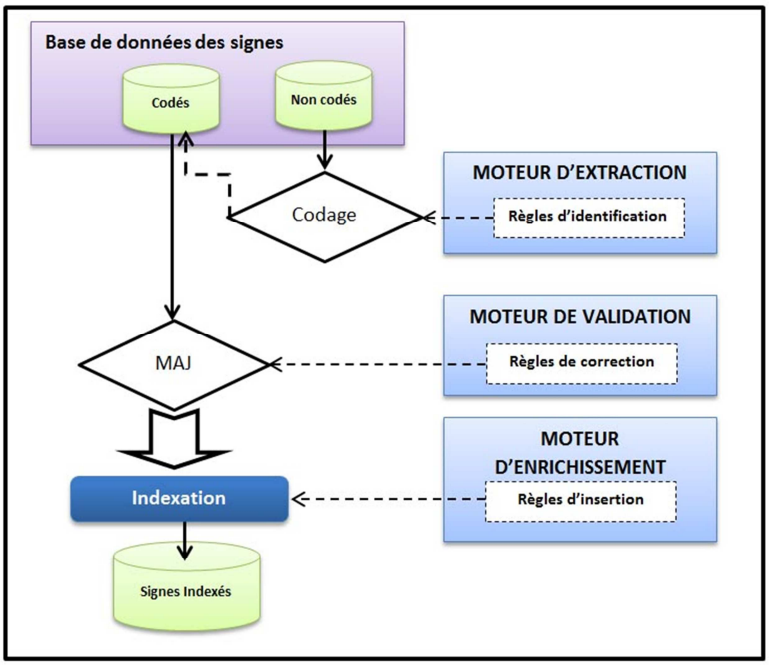


Figure 8.1 : *Architecture générale du système d'enrichissement de la base de données*

Les composants de cette architecture sont :

Le moteur d'extraction : Dans cette partie, le système fait appel à des règles d'identification permettant d'extraire les signes de notre base de données qui ne sont pas codés. En effet, les signes sont préalablement filtrés pour éviter les signes composés (les signes ayant plus de deux configurations de la main). Ces règles d'identification permettent aussi d'identifier les profils des utilisateurs qui ont un taux de réussite élevé dans le codage.

Le moteur de validation : Composé d'un ensemble de règles de correction, il permet la mise à jour des codages attribués à un signe selon la pertinence des utilisateurs afin de préparer l'intégration de ce nouveau signe au vocabulaire du dictionnaire.

Le moteur d'enrichissement : c'est la phase finale dans l'opération d'enrichissement. Grace à des règles d'insertion, le nouveau signe rejoint le dictionnaire avec un codage stable, et il obtient le statut d'un signe indexé. De ce fait, il fera lui aussi partie des signes qui seront présentés à l'algorithme de classification.

Ainsi, le processus d'enrichissement de la base de données se déroule selon les trois étapes suivantes: la génération du signe non codé pour les utilisateurs, l'adaptation du signe codé selon les différentes propositions et l'insertion de ce dernier dans le dictionnaire inversé. Après avoir décrit le rôle de chacune de ces trois composantes, nous allons à présent présenter en détail le fonctionnement de chacune d'elles.

8.2.1. Moteur d'extraction :

Un nouveau signe s'ajoute à la base de données sous la forme d'une séquence vidéo avec une étiquette qui représente sa signification en français. Pour attribuer un codage à ce signe d'une manière automatique, le système cherche dans la base de données des profils des utilisateurs capables d'affecter un codage correct selon certaines règles que nous avons définies :

- L'utilisateur doit avoir effectué un grand nombre de codage dans la base de données.
- Le taux de réussite de l'utilisateur doit être élevé. Rappelons que nous ignorons les premiers codages effectués par les utilisateurs, car nous considérons qu'ils font partie d'une étape d'adaptation et de familiarisation avec la plate forme pour comprendre son mode de fonctionnement. Lorsque la courbe des valeurs de taux de réussite devient stable après un certain nombre de codage, nous pouvons alors commencer à établir le bulletin de codage de l'utilisateur afin de l'utiliser dans le moteur d'enrichissement.
- Les codages du même signe par le même utilisateur ne doivent pas être très différents. Quand l'utilisateur donne des codages identiques à un même signe qui s'est présenté plusieurs fois, le système estime que l'utilisateur a un bon niveau de cohérence de codage.

Le moteur d'extraction s'appuie sur les statistiques des requêtes du site de dictionnaire « lsf sur le web » [LSF sur le web]. Rappelons que ce dictionnaire est un dictionnaire Franaçais

→ LSF. Les internautes peuvent ainsi trouver le signe LSF correspondant à un mot donné. Pour cela, il se base sur une grille donnant le nombre de visites pour chaque mot de ce dictionnaire. Le tableau 8.1 montre un extrait de ces statistiques. Le moteur d'extraction trie dans le sens décroissant la liste des signes selon le nombre de visite qu'ils ont eu. Puis, il compare cette liste avec la liste des signes indexés. Le premier signe ayant le plus grand nombre de visite et qui n'est pas dans la liste des signes indexés, reçoit le signal du moteur d'extraction.

Signe	**Nb. De visites**
Bonjour	7832
à bientôt	7628
Merci	5508
au revoir	5270
Ça va	5123
Bavarder	4992
Aimer	4428
bon appétit	4410
bonne nuit	4159
Bébé	4118
Maman	4086
Svp	3966
Amoureux	3947
Ecouter	3627
Dialoguer	3491
Dire	3435
Aimer	3419
Pardon	3365
Regarder	3279
Papa	3262
Parler	3257
de rien	3137

Tableau 8.1 : *Extrait des statistiques relatives au nombre de visites pour chaque signe sur une période donnée*

Ce moteur d'extraction se déclenche lorsque le système détecte l'authentification d'un utilisateur qui a le profil permettant de coder un nouveau signe. Ensuite le système prépare le signe à coder et lance l'interface du codage pour cet utilisateur. Cette interface ressemble à l'interface de codage habituelle sauf qu'elle permet en plus de gérer l'enregistrement du nouveau signe avec son nouveau codage. Nous avons par la suite un deuxième déclencheur de ce moteur qui s'appuie sur le nombre des signes effectués par le même utilisateur dans la même session de connexion. Pour assurer une bonne alimentation de notre dictionnaire, nous n'avons pas limités les signes à insérer dans la session à un seul signe. En effet, quand

l'utilisateur effectue un certain nombre de signes (par exemple 10 signes), le moteur d'extraction se lance autant de fois qu'on a un signe à coder et à insérer dans la base de données.

La figure 8.2 illustre le mécanisme de ce moteur. Comme nous l'avions expliqué précédemment, le moteur commence par le tri de la liste des signes selon le nombre des visites. Puis, il extrait le signe. Ensuite, l'utilisateur code ce dernier. Enfin le système enregistre le codage fournit par l'utilisateur et passe au signe suivant selon la règle de session.

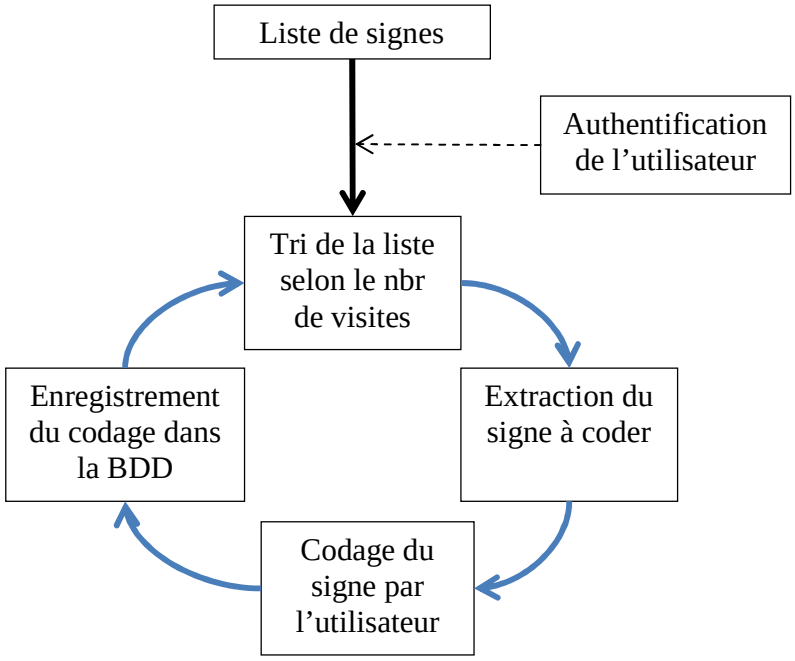


Figure 8.2 : *Mécanisme du moteur d'extraction*

Notons que ce moteur ne se lance qu'une seule fois pour le même signe. Il permet au nouveau signe d'être enregistré dans la base de données, il se prépare à recevoir d'autres codages de différents utilisateurs au cours du processus de la phase suivante qui concerne le moteur de validation.

8.2.2. Moteur de validation :

Après avoir inséré un nouveau signe dans la base de données en lui affectant un codage, notre système d'enrichissement passe à l'étape de validation du codage affecté. La démarche que nous avons suivie consiste à ne pas se limiter à un seul codage par signe mais, à construire pour chaque nouveau signe inséré, un ensemble de codages venant de différents

utilisateurs afin d'être sûr que le codage qui sera finalement affecté au signe est le plus pertinent. L'ensemble de codage utilisé par signe n'est quant à lui pas limité en nombre. La démarche suivie repose sur des règles que nous avons prédéfinies. Pour illustrer ces propos, prenons l'exemple du tableau 8.2. Nous avons pour ce cas, six utilisateurs que nous classons selon leur taux de réussite (colonne 2). A la base, chaque utilisateur reçoit un indice de confiance (colonne 3). Ce dernier suit le taux de réussite des utilisateurs. Il est initialisé à 1 pour l'utilisateur qui a le minimum des taux de réussite (la fin du tableau) puis il augmente de 1 à chaque fois qu'on passe à un utilisateur de meilleur rang.

Pour illustrer cela, nous avons pris un exemple de 3 nouveaux signes qui vont être insérés dans la base de données. Nous expliquons ici comment va être appliqué le moteur de validation sur ces signes. Rappelons que l'objectif de cette étape est de trouver le codage le plus représentatif possible du signe avant de l'insérer dans la base de données. Pour cela, chaque utilisateur affecte un codage. Ce codage est présenté dans le tableau sous la forme de lettres majuscules (Codage A, Codage B,…). Par conséquent, lorsque deux utilisateurs attribuent un codage similaire au même signe, nous affectons la même lettre à ce signe.

	Taux de réussite	**Indice de confiance**	**Signe 1**	**Signe 2**	**Signe 3**
Utilisateur 1	97%	6	Codage A	Codage A	Codage A
Utilisateur 2	95%	5	Codage A	Codage B	Codage B
Utilisateur 3	93%	4	Codage B	Codage B	Codage C
Utilisateur 4	92%	3	Codage A	Codage B	Codage D
Utilisateur 5	91%	2	Codage B	Codage B	Codage E
Utilisateur 6	90%	1	Codage B	Codage A	Codage F
Décision			**Codage A**	**Codage B**	**?**

Tableau 8.2 : *Exemple de validation d'un signe*

Les règles de ce moteur dépendent des deux acteurs de ce dernier. Nous avons mis en place deux règles qui concernent l'utilisateur et deux autres qui sont liées au nouveau signe.

Pour l'utilisateur:

- L'utilisateur doit effectuer plus de cent signes du dictionnaire (sans compter les premiers signes qui servent comme phase d'adaptation avec le système).
- L'utilisateur doit avoir un taux de réussite très élevé sur les signes effectués (>95%).

Concernant le signe:

- Chaque signe doit avoir au minimum cinq codages.

- Le bon codage doit représenter 80% de l'indice de confiance sur le total des indices.

Prenons l'exemple du signe 1 : Nous avons deux types de codages pour ce signe (Codage A et Codage B). Le système calcule la somme des indices pour chaque codage en additionnant les indices des utilisateurs. Ainsi les indices globaux des codages A et B seront calculés comme suit :

Indice global (A) = 6 + 5 + 3 = 14

Indice global (B) = 4 + 2 +1 = 7

En partant de ces données le système affiche des statistiques pour le signe 1 qui indiquent le résultat obtenu. Ces statistiques sont affichées sous la forme d'un diagramme en secteurs représentant le pourcentage de chaque codage du signe 1 (Figure 8.3).

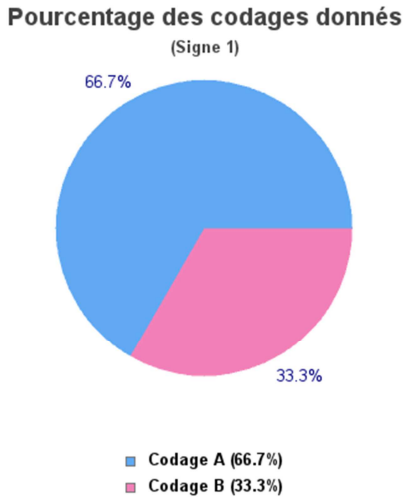


Figure 8.3 : *Diagramme en secteurs indiquant le pourcentage des codages effectués pour le Signe 1.*

Après cela, le signe 1 sera prêt à passer au troisième moteur qui va lui permettre de rejoindre le vocabulaire de notre dictionnaire.

En ce qui concerne le deuxième nouveau signe du tableau (Signe 2), nous obtenons les résultats suivants :

Indice global (A) = 6 + 1 = 7

Indice global (B) = 5 + 4 + 3 + 2 = 14

Ces résultats montrent que le codage B reçoit l'indice le plus élevé par rapport au codage A, et ce malgré que ce dernier ait été affecté par l'utilisateur qui a le meilleur indice de confiance par rapport aux autres (figure 8.4). Le but de cette procédure expérimentale est de lever le doute qui peut être causé lorsqu'on en a qu'un seul utilisateur. Comme le signe 1, le signe 2 est prêt maintenant à passer à l'étape suivante qui concerne l'enrichissement du dictionnaire.

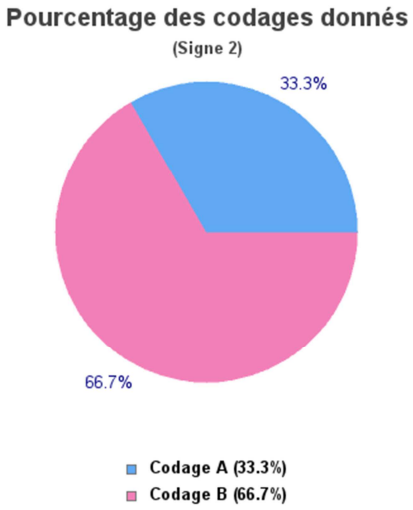


Figure 8.4 : *Diagramme en secteurs indiquant le pourcentage des codages effectués pour le Signe 2.*

Le dernier exemple du tableau 1 est le signe 3. Cet exemple présente un cas particulier, c'est le cas des signes avec lesquels il est impossible d'obtenir un résultat clair et rapide selon les règles utilisées. De ce fait, il sera difficile de prendre une décision automatique fiable pour valider ce signe. La figure 8.5 montre la dispersion des pourcentages concernant le signe 3. Pour un cas pareil, le système annonce un état de « demande de validation », et la procédure d'insertion du signe passe d'une procédure automatique à une procédure semi-automatique qui nécessite l'intervention de l'administrateur pour la validation de ce signe.

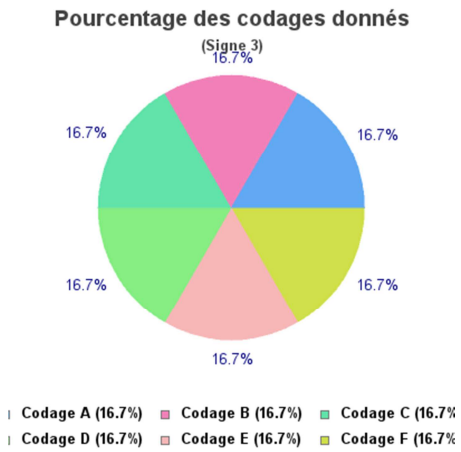


Figure 8.5 : *Diagramme en secteurs indiquant le pourcentage des codages effectués pour le Signe 3.*

8.2.3. Moteur d'enrichissement :

C'est la dernière étape dans le processus d'alimentation automatique du dictionnaire. A ce stade le signe possède un codage validé et donc prêt à passer de la phase d'un signe codé à la phase d'un signe indexé. Dans cette étape, le système lance une recherche dans la base de données pour savoir si le signe est déjà présent dans le but d'établir une comparaison entre l'existant et le nouveau. Comme dans toutes les langues, il existe pour la LSF des signes synonymes, des signes qui ont la même signification mais qui sont différents (qui ont plusieurs signations possibles). Si le signe existe déjà, le moteur d'enrichissement refuse son insertion à la base de données tout en alertons l'administrateur de cette redondance. Dans le cas où le signe n'est pas présent dans le dictionnaire, le moteur lui affecte un code unique et l'enregistre avec les signes indexés de la base de données.

8.3. Procédure expérimentale :

Parmi les 2500 signes non codés, nous avons codé 369 signes par différents utilisateurs. 1862 codages qui ont été attribués à ces nouveaux signes avec une moyenne de 5 codages pour chaque signe. Nous avons procédé après cela à l'analyse détaillée de ces nouveaux codages en suivant les règles que nous avions fixées au préalable dans le mécanisme d'enrichissement du dictionnaire.

Prenons l'exemple du signe « BILLET » que les utilisateurs avaient codé pendant le processus d'enrichissement. La figure 8.6 montre une représentation de séquences d'images

vidéo de ce signe. Ce signe simple s'effectue avec deux mains sous la forme d'une pince exerçant un mouvement symétrique.



Figure 8.6 : *Séquences vidéo du signe « BILLET »*

Nous avons constaté deux codages différents de ce signe parmi sept utilisateurs. La figure 8.6 illustre ces deux codages. Notons que les deux codages sont similaires pour la configuration de la main (configuration 11), l'emplacement (Niveau torse proche du corps) et le nombre de la main utilisé dans ce signe (deux mains). La seule différence est dans le type de mouvement effectué par la main. Le codage A mentionne un mouvement de séparation des deux mains. En revanche, le codage B présente un mouvement d'union des deux mains (***fig.*** 8.7).

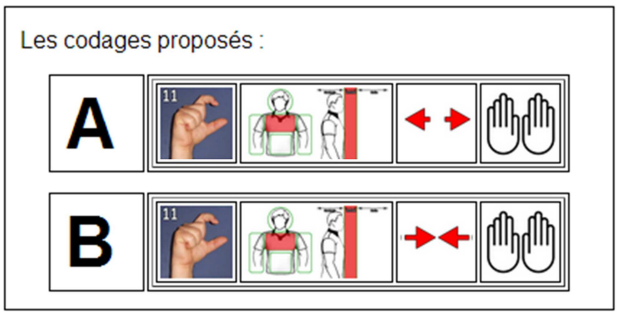


Figure 8.7 : *Codages proposés pour le signe « BILLET »*

Après avoir collecté ces codages, le moteur de validation applique les règles de correction pour prendre le codage le plus significatif du signe « BILLET » parmi les deux codages. Pour cela, il calcule le total d'indices pour chaque codage selon les indices de confiance des utilisateurs. Dans la figure 8.8, nous avons la liste des utilisateurs triée selon leurs indices de confiance. Nous avons six utilisateurs parmi sept qui ont effectué le codage A. Ce qui donne un total d'indices de 54 par rapport à 6 pour le codage B. De ce fait, nous concluons que le codage A a acquis 90% de l'ensemble des indices des utilisateurs.

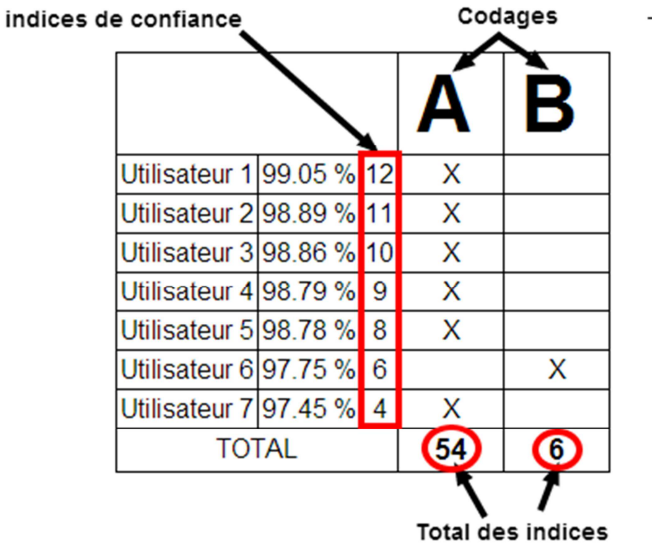


Figure 8.8 : *Tableau récapitulatif des codages effectués pour le signe BILLET.*

Pour conclure le signe « BILLET » ne présente aucune difficulté dans son codage, il réalise toutes les règles du moteur de validation. C'est le moteur d'enrichissement qui applique ses règles pour insérer ce nouveau signe dans la base de données du dictionnaire.

Prenons maintenant l'exemple du signe « AVERTISSEMENT » que le moteur d'extraction a sélectionné et que les utilisateurs ont codé pendant le moteur de validation. La figure 8.9 montre une représentation sous la forme d'une séquence vidéo de ce signe. C'est un signe simple qui s'effectue avec deux mains en tapant la main dominante sur le dos de la main dominée.



Figure 8.9 : *Présentation sous la forme de séquences vidéo du signe « AVERTISSEMENT »*

Les utilisateurs ont donné 4 codages différents pour ce signe. La figure 8.9 présente ces quatre codages sous une forme graphique. Visuellement les quatre codages (A, B, C et D) sont très proches. Les utilisateurs ont affecté le même emplacement (Niveau torse et proche au corps) pour tous les codages. Ils sont aussi d'accord sur le nombre des mains utilisées dans ce signe (deux mains). La différence se trouve dans la configuration de la main et le mouvement.

Les deux configurations sélectionnées sont la configuration 41 et la configuration 43. Selon la matrice de similarité ces dernières configurations sont très proches et elles appartiennent à la même classe (Figure 8.10).

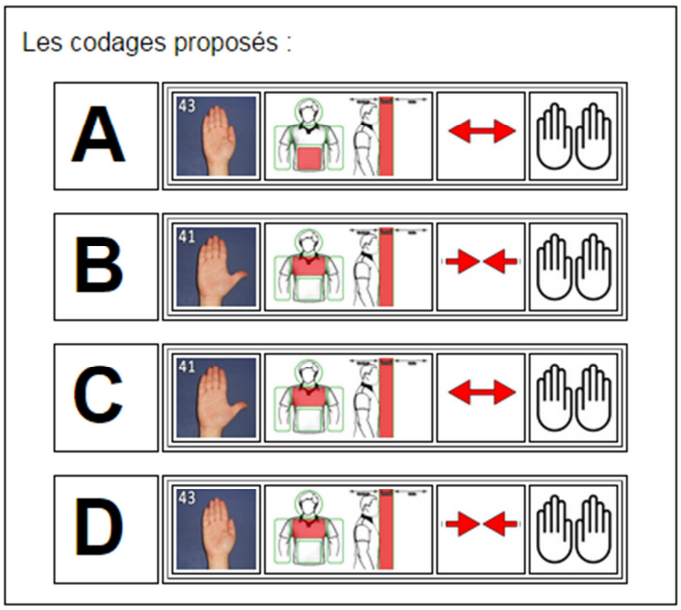


Figure 8.10 : *Codages affectés au nouveau signe « AVERTISSEMENT »*

Nous constatons aussi que les deux codages A et C, qui sont différents au point de vue des configurations de la main, sont identiques du point de vue du mouvement de la main. La même chose pour les codages B et D.

Dans la figure 8.11, nous appliquons les règles de correction qui gèrent le moteur de validation. Nous avons cinq utilisateurs qui ont codé le signe « AVERTISSEMENT ». Ils sont triés selon leurs taux de réussite avec un indice de confiance pour chacun. En bas du tableau, nous avons calculé le total des indices pour chaque codage. Selon la figure 8.11, le codage C reçoit deux indices (11 et 10) des utilisateurs 1 et 2. Ensuite, nous avons le codage A qui reçoit l'indice 5, le codage B qui reçoit l'indice 8 et le codage D qui reçoit l'indice 9. La somme des indices est égale à 43 avec le codage C qui possède 21 par rapport à ce total. Face à ces résultats, le signe « AVERTISSEMENT » devra rester dans le moteur de validation afin d'affiner encore plus son codage avant de rejoindre le dictionnaire.

			A	B	C	D
Utilisateur 1	98.89 %	11			X	
Utilisateur 2	98.86 %	10			X	
Utilisateur 3	98.79 %	9				X
Utilisateur 4	98.78 %	8		X		
Utilisateur 5	97.54 %	5	X			
TOTAL			5	8	21	9

Figure 8.11 : *Tableau récapitulatif des codages proposés pour le signe « AVERTISSEMENT »*

Nous avons aussi d'autres signes où les codages proposés ne sont pas encore validés par notre moteur de validation. Ces signes présentent des codages très dispersés et le système les traitent toujours par des nouveaux codages.

Le tableau 8.3 ci-dessous donne la liste des signes qui ont été concernés par le mécanisme d'auto-enrichissement de notre système.

	Processus d'auto-enrichissement	Moteur d'extraction	Moteur de validation	Moteur d'enrichissement
Nombre	**369**	**97**	**253**	**19**
Pourcentage	**100 %**	**26,28 %**	**68,56 %**	**5,14 %**

Tableau 8.3 : *Répartition des signes dans le mécanisme d'auto-enrichissement*

8.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une méthode d'auto-enrichissement du dictionnaire contenant des signes de la LSF. C'est une approche qui s'appuie sur la collaboration des utilisateurs de notre système en affectant des codages à des nouveaux signes parmi les signes recherchés. Le signe passe par un processus comprenant trois moteurs. Chaque moteur est basé sur des règles propres à son fonctionnement. Ainsi, le passage du signe d'un moteur vers un autre est un passage linéaire et continu. Un signe ne peut être que dans un seul moteur à la fois et ne peut revenir au moteur précédent sauf dans le cas de l'intervention de l'administrateur. Le processus d'auto-enrichissement permet ainsi d'économiser l'effort exercé pendant l'enrichissement manuel en présentant une solution intelligente et innovante pour enrichir le vocabulaire du dictionnaire de la LSF.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les contraintes que nous avons prises en compte dans ce travail, concernant les interfaces homme-machine et la pertinence des résultats recherchés, sont bien respectées lors la conception et durant la réalisation finale. Avec des interfaces simples et des questions claires, l'utilisateur pourra arriver à trouver une réponse optimale dans la procédure de recherche d'un signe.

La communauté sourde est un groupe très actif dans la société actuelle. Dans cette étude, nous avons mis en place un système de classification des signes sous la forme d'un dictionnaire en ligne LSF→Fr. C'est le fruit d'un ensemble d'expérimentations et d'analyses qui ont aboutis pour la première fois à guider, les personnes qui cherchent la signification d'un signe donné, pour trouver leur réponse d'une manière dynamique et simple.

Lors de cette recherche nous avons remarqué des contradictions importantes entre l'approche théorique d'un signe (les paramètres fixés par les experts de la LSF) et la réalité constatée par les utilisateurs de notre système. Les expériences montrent l'existence d'une différence importante entre la vision d'un utilisateur pour un signe par rapport aux paramètres saisis de ce derni,er ainsi qu'avec la vision des autres utilisateurs. Vis-à-vis de cette problématique, nous avons constaté que notre système doit se comporter différemment entre un utilisateur pratiquant de la LSF et un autre qui est en phase d'apprentissage de la LSF tout en restant dans un compromis entre l'ergonomie des interfaces (facilité de recherche) et la qualité des résultats (rapidité de réponses). Le développement d'un système auto-adaptatif serait le moyen le plus fiable pour l'enrichissement de notre dictionnaire.

Le processus de recherche d'un signe dans le sens LSF → Français s'effectue par une succession de paramètres gestuels que nous avons jugé à travers d'un test préliminaire suffisants pour avoir le bon signe recherché. Il s'agit de trois paramètres qui sont la configuration de la main, son emplacement dans l'espace et le mouvement accompagné s'il existe plus un quatrième paramètre qui est le nombre de mains utilisé et qui joue le rôle de filtrage des résultats. Notre algorithme prend ses paramètres comme entrée (input) sous une forme adaptée et normalisée (un vecteur) puis notre système lance la fonction d'évaluation destinée au calcul de dissemblance entre les entrées des utilisateurs et les signes indexés dans la base de données.

L'évolution progressive des utilisateurs lors des expérimentations, nous a permis de mettre en évidence l'importance d'un système qui jongle entre les différents profils des utilisateurs. Nous disposons de deux modes de calcul : un mode de calcul par paramètres et un mode de calcul par apprentissage. Le premier mode consiste à appliquer un calcul de dissemblance globale entre les paramètres saisis par l'utilisateur et les paramètres de chaque signe dans la base de données. Ce mode est destiné au pratiquant de la LSF où le risque de commettre des erreurs de codage est très bas. Le deuxième mode s'appuie sur des données expérimentales capables de gérer l'éventuelle erreur qu'un utilisateur en phase d'apprentissage peut saisir.

Notre système se soumettait à des mises à jour itératives après chaque expérimentation. Celles-ci affectaient les données, les interfaces et l'architecture de la plate-forme. Ce nouveau-né (dictionnaire inversé) a été nourri par des observations pratiques des participants, ainsi que par des orientations théoriques des spécialistes. Il faut noter que nous ciblons un public très varié (sourd et entendant). Cette particularité affectait notre choix des algorithmes, du fait que nous voulons récupérer les différents points de vue. Ce qui influence par la suite la sémantique de notre architecture que nous envisageons de la rendre auto-corrective.

Plusieurs facteurs ont été améliorés aussi, à savoir la quantité de données à traiter et le temps de réponse à réduire. Notre système est soumis à une opération de '*reloading',* afin de recalculer les variables et redéfinir les signes, après une période d'apprentissage. Ce nouveau-né qui a commencé par 500 signes codés et indexés, se nourrit d'une manière autonome par les consultations des internautes et les observations des experts. L'enrichissement du vocabulaire est une stratégie que nous avons mise en place récemment, et qui va assurer la continuité et le développement de notre dictionnaire

Nous estimons qu'après la procédure d'enrichissement du dictionnaire sur un long terme, l'espace de représentation sera influencé et il va devenir plus condensé. Le codage actuel [C, P, M, N] générera des résultats ambigus pour certain signes très proche. La discrimination des éléments de l'espace de représentation doit être encore plus intelligente et robuste. Comme une première solution, nous croyons qu'un système de demande de précision sous la forme d'une recherche avancé peut résoudre cet obstacle. N'oublions pas que nous avons utilisé que trois paramètres d'un signe en ajoutant un filtrage par nombre de mains. Il reste encore l'orientation de la main avec ses six aspects (vers les directions suivante : haut, bas, droit, gauche, intérieur et extérieur) qui pourra enlever plus d'ambigüité sur une très large palette des signes. Les expressions faciales jouent aussi un rôle très important dans ce travail de discrimination. Le système actuel est très efficace sur les 500 signes, le jour où il sera supporté

par une fonctionnalité capable d'ajouter plus de critères d'une manière dynamique lors d'un état d'ambigüité, ce dictionnaire ne présentera pas des limitations d'enrichissement et d'expansion au niveau des signes.

Un autre point très important à améliorer est l'automatisation des traitements de coefficients d'apprentissage. Cette procédure porte sur l'utilisation des intervalles de coefficient au lieu des valeurs fixes selon le codage saisi ou le signe recherché. Cette procédure demande ainsi un nettoyage régulier des données et un traitement intelligent des anomalies causés lors l'utilisation du système.

Déjà à l'état actuel du système, et à la vue des résultats obtenus, une application pédagogique semble se dégager de manière efficace. Lors d'une requête qui comporte des erreurs de codage, il sera possible de proposer une correction qui fasse un renvoi au code de référence.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Schéma du modèle mathématique du Shannon-Weaver
Figure 1.2 : Liste des positions et des configurations manuelles du code LPC (issue de [Attina 04])
Figure 1.3 : Différents types de prothèses auditives, d'embouts, et leurs indications [Lina-Granade 10]
Figure 2.1 : Interface du mode alphabétique du Pictokids
Figure 2.2 : Interface du mode grammatical de Pictokids
Figure 2.3 : Interface du mode thématique du logiciel Pictokids
Figure 2.4 : Structure de la phrase ciblée dans le logiciel Pictokids
Figure 2.5 : Système de conjugaison de la phrase textuelle en trois temps (Passé, Présent et Future)
Figure 2.6 : Exemple de la traduction d'une phrase pictographique en phrase textuelle dictée par le logiciel
Figure 3.1 : Liste des configurations de la main pour le codage des consonnes dans le LPC
Figure 3.2 : Liste des positions pour le codage des voyelles dans le LPC
Figure 3.3 : L'agent conversationnel Greta
Figure 3.4 : Points de contrôle de la main par les fichiers de codage (20 points)
Figure 3.5 : Exemple de fichier de pilotage de la configuration 5
Figure 3.6 : Interface de pilotage et création des gestes du LPC
Figure 3.7 : Gestes de LPC générés par Greta
Figure 3.8 : Extrait de fichier XML montrant la structure de la balise <gesture>
Figure 3.9 : Comparaison entre les gestes générés par Greta et ceux de l'animatrice
Figure 3.10 : Démonstration des gestes du LPC accompagnés des mouvements des lèvres
Figure 4.1 : Liste thématique du site (Français ? LSF)
Figure 4.2 : Représentation schématique de l'espace de signation
Figure 4.3 : Schéma de temps dans la langue des signes française
Figure 4.4 : Exemple d'ambiguïté de mouvement entre deux signes IVT [IVT 98]
Figure 4.5 : Orientation de la main dans deux signes semblables [IVT 98]
Figure 5.1 : A quel signe correspond cette représentation ?
Figure 5.2 : 59 configurations de la main
Figure 5.3 : Description détaillée de la table des configurations
Figure 5.4 : Vibration des doigts dans le signe LA-FOULE-ARRIVE-DE-PARTOUT
Figure 5.5 : Extrait des matrices de dissemblance des configurations
Figure 5.6 : Exemples de configurations proches et éloignées
Figure 5.7 : Matrice de dissimilarité des configurations qui utilise une série de couleurs à partir des valeurs qualitatives.

Figure 5.8 : Classes des configurations de la main selon le degré de ressemblance.
Figure 5.9 : La main est mise sur le genou en dehors de l'espace de signation habituel
Figure 5.10 : Positions verticales de la main sur le plan frontal
Figure 5.11 : Positions horizontales de la main sur le plan de la distance avec le corps
Figure 5.12 : Espace de signation sous la forme d'un cube
Figure 5.13 : Distance entre deux cubes adjacents
Figure 5.14 : Matrice de distance des emplacements (les valeurs correspondent au nom des cubes de notre modèle. Voir les figures 5.10 et 5.11)
Figure 5.15 : Schéma explicatif des étapes de l'expérience 1
Figure 5.16 : Pourcentage de réussite sur l'expérience 1
Figure 5.17 : Courbes de taux de réussite des cinq participants
Figure 5.18 : Pourcentage des critères sélectionnés dans l'expérimentation 1. A gauche (configuration) et à droite (position)
Figure 5.19 : Cinq emplacements de la main sur le plan frontal
Figure 5.20 : Trois emplacements de la main sur le plan horizontal (latéral)
Figure 5.21 : Matrice de distances des emplacements de la main
Figure 5.22 : Signe CAFE (Un signe qui s'effectue avec deux mains en mouvement de rotation)
Figure 5.23 : Types de mouvements
Figure 5.24 : Signe ADRESSE effectué avec deux mains
Figure 5.25 : Matrice de dissimilarité des mouvements.
Figure 5.26 : Étapes de modélisation du signe 'BONJOUR'
Figure 5.27 : Codage du signe BONJOUR
Figure 5.28 : Représentation graphique du signe BONJOUR
Figure 5.29 : Distribution des valeurs de dissimilarité dans la matrice globale des signes
Figure 5.30 : Nombre des mains dans un signe recherché
Figure 5.31 : Interface de choix de configurations de la main
Figure 5.32 : Interface de choix de la position frontale
Figure 5.33 : Interface de choix de la position horizontale
Figure 5.34 : Interface de choix du mouvement de la main
Figure 5.35 : Résultats sous la forme d'un nuage de mots
Figure 5.36 : Résultats sous la forme d'une liste
Figure 6.1 : nombre de signes dans la base de données selon les classes (1conf, 2confs)
Figure 6.2 : Évaluation comparative sur les signes effectués par un participant
Figure 6.3 : Schéma explicatif de la procédure de recherche dans l'expérience 2
Figure 6.4 : Schéma bloc descriptif des étapes de l'expérimentation 2
Figure 6.5 : Pourcentage des signes selon le taux de réussite dans l'expérimentation 2
Figure 6.6 : Taux de réussite des configurations de la main
Figure 6.7 : Distribution des configurations de la main dans les deux codages
Figure 6.8 : Fenêtre de suivi de la configuration (01)
Figure 6.9 : Comparaison entre la configuration (01) et la configuration (41)
Figure 6.10 : Comparaison entre la configuration (01) et la configuration (35)
Figure 6.11 : Taux de réussite des configurations après l'analyse

Figure 6.12 : Pourcentage de réussite globale des emplacements
Figure 6.13 : Comparaison des distributions des emplacements dans les deux observations (références et test)
Figure 6.14 : Fenêtre de l'analyse détaillée de l'emplacement (Contact avec la tête)
Figure 6.15 : Pourcentage de réussite des mouvements dans les observations des tests
Figure 6.16 : Fenêtre de l'analyse détaillée Du mouvement de la main (Courbe)
Figure 6.17 : Représentation graphique d'un réseau de neurones
Figure 6.18 : Fichier d'entrée pour l'algorithme d'apprentissage
Figure 6.19 : Répartition des participants selon leurs niveaux de la pratique de la LSF
Figure 7.1 : Séquence de vidéo pour le signe 'BLANC'
Figure 7.2 : Représentation graphique du codage pour le signe 'BLANC'
Figure 7.3 : Fréquence des signes pour le codage [41-TN-SP-02] sous la forme d'un nuage de mots
Figure 8.1 : Architecture générale du système d'enrichissement de la base de données
Figure 8.2 : Mécanisme du moteur d'extraction
Figure 8.3 : Diagramme en secteurs indiquant le pourcentage des codages effectués pour le Signe 1.
Figure 8.4 : Diagramme en secteurs indiquant le pourcentage des codages effectués pour le Signe 2.
Figure 8.5 : Diagramme en secteurs indiquant le pourcentage des codages effectués pour le Signe 3.
Figure 8.6 : Séquences vidéo du signe « BILLET »
Figure 8.7 : Codages proposés pour le signe « BILLET »
Figure 8.8 : Tableau récapitulatif des codages effectués pour le signe BILLET.
Figure 8.9 : Présentation sous la forme de séquences vidéo du signe « AVERTISSEMENT »
Figure 8.10 : Codages affectés au nouveau signe « AVERTISSEMENT »
Figure 8.11 : Tableau récapitulatif des codages proposé pour le signe « AVERTISSEMENT »

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Liste des thèmes et des sous-thèmes de Pictokids
Tableau 4.1 : Statistiques sur des sites en ligne de la LSF [wikisign]
Tableau 4.2 : nombre des configurations de base selon différents auteurs
Tableau 5.2 : Structure de la Table des mouvements dans la base de données
Tableau 5.3 : Liste des homosignes dans la base de données
Tableau 6.1 : Résultats statistiques de l'expérimentation 1
Tableau 6.2 : Structure de la Table des emplacements dans la base de données
Tableau 6.3 : Matrice de confusion des classes des configurations dans l'expérience 2 (Les sélections maximales figurent en caractères gras)
Tableau 6.4 : Matrice de confusion des emplacements (Les valeurs de sélection maximales sont en caractère gras)
Tableau 6.5 : Matrice de confusion des mouvements (Les valeurs de sélection maximales sont en caractère gras)
Tableau 6.6 : Tableau trié des résultats des fonctions pondérés

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Liste de vocabulaire utilisé et testé dans cette étude
Annexe B : Conception de la base de données du dictionnaire Inversé
Annexe C : Matrice de similarité des configurations de la main
Annexe D : Matrice de distance des emplacements de la main
Annexe E : Matrice des distances des mouvements de la main
Annexe F : Matrice de confusion des configurations
Annexe G : Résultat de réseau de neurones pour 8 signes (48,861%)
Annexe H : Résultat de l'arbre de décision
Annexe I : Les résultats des fonctions triés par ordre décroissante du nombre total des signes
Annexe J : Résultats des observations de l'expérimentation 1.
Annexe K : Codages utilisés pour les signes du dictionnaire (464 codages / 500 signes)
Annexe L : Codages utilisés dans les expérimentations (2501 codages)
Annexe M : Tableau globale d'apprentissage
Annexe N : Configurations de la main

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[Aboutabit 06] N. Aboutabit, D. Beautemps, and L. Besacier, "*Hand and Lips desynchronization analysis in French Cued Speech: Automatic segmentation of Hand flow*", ICASSP, (2006)

[Abraham 08] M. Abraham, "*Communication pictogramme bidirectionnelle : du pictogramme au texte et inversement*" Handicap 2008 : 5ème conférence, 10-12 juin, Paris, (2008)

[Abraham 95] M. Abraham, "*Contribution méthodologique à la constitution d'un dictionnaire informatique des verbes*" Thèse de doctorat, EHESS, (1995)

[Akmajan 84] A. Akmajian, R. A. Demers, and R.M. Harnish, "Linguistics: An introduction to Language and Communication", The MIT Press, Cambridge, Mass. (1984)

[Attina 04] V. Attina, D. Beautemps, M. A. Cathiard, and M.Odisio, "*A pilot study of temporal organization in cued speech production of French syllables: rules for Cued Speech synthesizer*", Speech Communication,Vol. 44, pp. 197-214, (2004)

[Aznar 08] G. Aznar. "*Informatisation d'une forme écrite de la langue des Signes Française*", Thèse de doctorat en informatique, Université de Toulouse, (2008).

[Bailly 06] G. Bailly, C. Baras, P. Bas, S. Baudry, D. Beautemps, R. Brun, J.-M. Chassery, F. Davoine, F. Elisei, G. Gibert, L. Girin, D. Grison, J.-P. Léoni, J. Liénard, N. Moreau, and P. Nguyen. "*ARTUS : calcul et tatouage audiovisuel des mouvements d'un personnage animé virtuel pour l'accessibilité d'émissions télévisuelles aux téléspectateurs sourds comprenant la Langue Française Parlée Complée*" in Handicap 2006. Paris, 265-270. (2006)

[Bailly 92] G. Bailly, and M. Alissali, "*COMPOST: a server for multilingual text-to-speech system"*. Traitement du Signal, 9(4): p.359-366. (1992)

[Baker 02] S. Baker, "*The perception of handshape in Amercian Sign Language*". Thèse de Doctorat, University of Delaware, Newark, Delaware. (2002)

[Bastien-Scapin 93] C. Bastien and D. Scapin, "*Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces*", Inria, (1993).

[Bateson 00] G. Bateson, "*Steps to an ecology of mind*", Chicago: University of Chicago Press, (2000)

[Battison 78] R. Battison, "*Lexical Borrowing in American Sign Language*". Silver Spring, MD: Linstok Press, (1978)

[Bonnal 05] F. Bonnal "*Sémiogenèse de la langue des signes française : étude critique des signes attestés sur support papier depuis le XVIIIe siècle et nouvelles perspectives de dictionnaires*", Thèse de doctorat, Université Toulouse le Mirail, (2005).

[Boutora 06] L. Boutora, "*Vers un inventaire ordonné des configurations manuelles de la Langue des Signes Française*", JEP, Dinard, (2006).

[Bouvet 92] D. Bouvet, "*Classification articulatoire des configurations de la main dans la langue des signes française : Portée heuristique de cette classification pour la recherche des unités distinctives, Protée"*, Vol. 20 n°2 pp. 23-32 et n°3 pp. 87-99. (1992).

[Braffort 07] A. Braffort, P. Dalle, "*Sign language applications: preliminary modeling*", In International journal on Universal Access in the Information Society, Special issue 6/4 "Emerging Technologies for Deaf Accessibility in the Information Society", Springer, 2007.

[Braffort 08] A. Braffort, "*Traitement automatique de la langue des signes française*", Mémoire de l'Habilitation à Diriger des Recherches, LIMSI/CNRS, (2008)

[Braffort 10] A. Braffort, M. Filhol, J. Segouat, "*Traitement automatique des langues des signes : le projet Dicta-Sign, des corpus aux applications"*, TALN, Montréal, Canada (2010).

[Braffort 10a] A. Braffort, J.-P. Sansonnet, J.-C. Martin and C. Verrecchia, "*Diva, une architecture pour le support des agents gestuels interactifs sur Internet.*", Technique et Science Informatiques 29/7 (Agents Conversationnels Animés): 777-806. (2010)

[Braffort 10b] A. Braffort, L. Bolot, E. Chételat-Pelé, A. Choisier, M. Delorme, M. Filhol, J. Segouat, C. Verrecchia, F. Badin and N. Devos. "*Sign Language corpora for analysis, processing and evaluation*" Proceedings of the Language Resources and Evaluation Conference Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages : Corpora and Sign Languages Technologies, May 17th–23rd, Valetta, Malta. (2010)

[Braffort 96] A. Braffort, "*Reconnaissance et compréhension de gestes, application à la langue des signes*", Thèse de doctorat en informatique, Université Paris 11, (1996).

[Braffort 97] A. Braffort, "*ARGo : un système de reconnaissance et de compréhension de la Langue des Signes Française*". Dans : conférence francophone Interfaces (1997)

[Burgoon 96] J. K. Burgoon, D. B. Buller, & W. G. Woodall, "*Nonverbal communication: The unspoken dialogue*",(2nd ed.). New York: The McGraw-Hil, pp. 136-137, (1996)

[Buyssens 43] E. Buyssens, "*Les langages et le discours*", Bruxelles, (1943)

[Bylon-Mignot 91] C.Bylon et X.Mignot, "*La communication*", Edition NATAN, p 193, (1991)

[Cooley 98] C. H. Cooley, "*Nature humaine et ordre social*". La signification du « Je », in BOLOGNINI, M., PRETEUR, Y., Estime de soi, perspectives développementales, Paris, éd. Delachaux et Niestlé, (1998).

[Cornett 67] R.O. Cornett, "*Cued Speech*", American Annals of theDeaf, Vol. 112, pp. 3-13, (1967).

[Cornuéjols-Miclet 02] A. Cornuéjols, L. Miclet, "*Apprentissage artificiel*". Eyrolles, (2002).

[Cosi 03] P. Cosi, A. Fusaro, G. Tisato, *"LUCIA a New Italian Talking-Head Based on a Modified Cohen-Massaro's Labial Coarticulation Model*", Proc. Eurospeech 2003, Genova, Switzerland, pp: 127-132, September 1-4, (2003)

[Cuxac 00.a] C. Cuxac, "*La Langue des Signes Française : les Voies de l'Iconicité*", Faits de Langues Vol. 15-16, Ophrys, (2000).

[Cuxac 00.c] C. Cuxac, "*La Langue des Signes Française : les Voies de l'Iconicité*", Faits de Langues Vol. 15-16, Ophrys, pp. 97-130, (2000).

[Cuxac 97.b] C. Cuxac, "*Iconicité et mouvement des signes en langue des signes française, Le mouvement*" , Actes de la sixième Ecole d'Eté de l'Association pour la Recherche Cognitive (ARC), Paris, pp. 205-218. (1997).

[Daassi 10] H. Daassi-Gnaba, M. Zbakh, J. Lopez Krahe,"*Combinaison de reconnaissance de la parole, reconnaissance des émotions et tête parlante codeuse en LPC pour les personnes sourdes et malentendantes*". revue STH (Sciences et Technologies pour le Handicap), Vol 3, pp. 239-253, Hermès Lavoisier (2010)

[Daassi-Gnaba 09] H. Daassi-Gnaba, and J. Lopez Krahe, "*Universal combined system: speech recognition, emotion recognition and talking head for deaf and hard of hearing people*", AAATE, pp. 503-508, (2009).

[Daassi-Gnaba 10] H. Daassi-Gnaba, M. Zbakh, J. Lopez Krahe, "*Combinaison de reconnaissance de la parole, reconnaissance des émotions et tête parlante codeuse en LPC pour les personnes sourdes et malentendantes*". revue STH (Sciences et Technologies pour le Handicap), Vol 3, pp. 239-253, Hermès Lavoisier. (2010)

[Daren 08] Daren C. Brabham, "*Crowdsourcing as a Model for Problem Solving An Introduction and Cases*", (2008)

[Dreyfus 08] G. Dreyfus, J.M. Martinez, M. Samuelides, M.B. Gordon, F. Badran, S. Thiria "*Apprentissage statistique: Réseaux de neurones – Cartes topologiques - Machines à vecteurs supports"*, Eyrolles, (2008).

[Elliott 04] R. Elliott, J. Glauert, V. Jennings, R. Kennaway, "*An overview of SiGML notation and SiGMLSigning software system*". In Proceedings of LREC 2004 (Language Resources and Evaluation Conference) workshop RPSL (Representation and Processing of Sign Languages) : From SignWriting to Image Processing.Information techniques and their implications for teaching, documentation and communication, Lisbon, Portugal (2004).

[Emmorey 03] K, Emmorey, S, Mccuillouch & D, Brentari, "*Categorical perception in American Sign Language*". Language and Cognitive Processes, 18(1), 21–45. (2003)

[Epée 76] Abbé de l'Epée, "*Tome 1 : Ouvrage qui contient le projet d'une langue universelle par l'entremise des signes naturels assujettis à une méthode.*", Paris : Nyon in 12e. (1776)

[Filhol 06] M. Filhol, A. Braffort, "*Méthodologie d'exploration de corpus et de formalisation de règles grammaticales pour les langues des signes*", conférence sur le traitement automatique des langues naturelles (TALN), Grenoble, France (2012).

[Filhol 12] M. Filhol, A. Braffort, "*Sign description, how geometry and graphing serve linguistic issues ",* Theoretical issues on Sign Language research (TISLR 9), Florianopolis, Brazil (2006).

[Fournier-Cord 02] J. Fournier, M. Cord, "*Long-term similarity learning in content-based image retrieval*". In IEEE International Conference in image Processing (ICIP'02), Rochester, New-York, USA (2002).

[Gibert 06] G. Gibert, "*Conception et évaluation d'un système de synthèse 3D de Langue française Parlée Complétée (LPC) à partir du texte*", thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique, Grenoble, France, (2006).

[Guilliams 87] I. Guilliams, "*ALLAO, un système d'apprentissage et d'évaluation de la lecture labiale à partir d'un vidéodisque interactif*", Bulletin d'Audiophonologie, Vol. 3, n° 5, pp. 89-614, (1987).

[Habermas 78] J. Habermas, "*Logique des sciences sociales*", Edition PUF, (1978)

[IVT 98] International Visual Theatre, La langue des Signes 1, 2 et 3. Edition, (1998).

[Ko & Seo 11] Y. KO, J. SEO, "*Issues and Empirical Results for Improving Text Classification*", Journal of Computing Science and Engineering. (2011)

[Labiao 05] Artemis, Labiao project, (2005)

[Lefebvre-Albaret 09] F. Lefebvre-Albaret and P. Dalle, "*Analyse de vidéos en langue des signes: Analyse de vidéos en langue des signes - méthodes et stratégies*", ORASIS, (2009).

[Lenseigne 05] B, Lenseigne, P, Dalle. "*Using Signing Space as a Representation for Sign Language Processing*". Dans : 6th International Gesture Workshop - GW 2005, Berder Island, 18/05/2005-20/05/2005, Springer-Verlag, p. 25-36, (2005).

[levenshtein 66] V. I. levenshtein, "*Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions and Reversals*", Soviet Physics Doklady, 10, February (1966).

[Liddell 89] S. K. Liddell, R. E. Johnson, "*American Sign Language, the phonological base*". Sign Language studies 64, Cambridge University press (1989).

[Lina-Granade 10] G. Lina-Granade, S. Gallego, H. Thai-Van, E. Truy "*Appareillage auditif conventionnel par voie aérienne*", EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Oto-rhino-laryngologie, (2010).

[Lowrance 75] R. Lowrance, and R. A. Wagner. "*An extension of the string-to-string correction problem*". Journal of the ACM, pp. 177-183, (April 1975).

[Marshall 04] I. Marshall, É. Safar, "*Sign Language Generation in an ALE HPSG*" . In proceedings of HPSG-11, Leuven, Belgique (2004).

[Maslow 43] A.H. Maslow, "*A Theory of Human Motivation*", Psychological Review 50(4) (1943).

[McCulloch- Pitts 43] W, S. McCulloch, W, Pitts, "*A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*", Bulletin of Mathematical Biophysics, vol. 5, pp. 115-133, (1943).

[McNeil 92] D. McNeil, "*Hand and Mind : What gestures reveal about thought*", University of Chicago Press (1992).

[Mehrabian 72] A. Mehrabian, "*Nonverbal Communication*", New Brunswick: Aldine Transaction, (1972).

[Moody 83] B. Moody, "*La Langue des Signes Française : histoire et grammaire*", Tome1, Paris (1983)

[Moody 86] B. Moody, "*La langue des signes - Tome 2: dictionnaire bilingue élémentaire.*" International Visual Theatre (I.V.T.). Editions Ellipses. Paris. (1986)

[Moreau 06] C. Morceau, C. Robalo, C. Tranchant and N. Zouba "*Site de Recherche de Signes Standars en LSF*", Projet technique – Master Handi, (2006).

[Moreau 07] C. Moreau, C. Tranchant, C. Robalo, N. Zouba, "*Modèle de recherche de formes de citation concernant le lexique standard en Langue des Signes Française*", TALN, Toulouse, (2007)

[Moreau 12] C. Moreau, "*Stratégies de reconstruction du sens en langue des signes française à partir de données incomplètes en et hors contexte - Perspectives pour la constitution d'un lexique/dictionnaire à entrée directe en langue des signes*", Thèse de doctorat en sciences du langage, Université de Paris 8 (2012).

[Mortera 10] A. Mortera, "*Evaluation ergonomique d'un Logiciel de communication pictographique auprès d'enfants atteints d'infirmité motrice d'origine cérébrale*", Rapport de stage, (2010)

[Neve 92] F.X. Neve, "*Phonologie ou gestématique des langues des signes des sourds : gestèmes, allogestes et neutralisations ?*" in La linguistique N°28, p. 69-93, (1992).

[Newport 82] E. Newport, "*Task specificity in language learning ? Evidence from speech perception and American Sign Language*", In WANNER E. & GLEITMAN L. (eds), Language acquisition : the state of the art, pp. 450–486 : Cambridge University press (1982).

[Pasquariello 01] S. Pasquariello , and C. Pelachaud, "*Greta A simple facial Animation Engine*", 6th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications, Session on Soft Computing for Intelligent 3D Agents, (2001).

[Pease 84] A. Pease "*Body language how to read others thoughts by their gestures*" SHELDON PRESS, (1984)

[Pelachaud 02] C. Pelachaud, V. Carofiglio, B. De Carolis, F. De Rosis, and I. Poggi, "*Embodied contextual agent in information delivering application*", First International Joint Conference on Autonomous Agent and Multiagent System, pp. 758 -765, (2002).

[Pelachaud 02] C. Pelachaud, V. Carofiglio, B. De Carolis, F. De Rosis, and I. Poggi, "*Embodied contextual agent in information delivering application*", First International Joint Conference on Autonomous Agent and Multiagent System, pp. 758 -765, (2002).

[Pouliquen] F. Le Pouliquen, "*LABIAO : première plate-forme MPEG-4 pour le Langage Parlé Complété assisté par ordinateur*", Actes 5èmes Ateliers de Travail sur l'Analyse d'Images, Méthodes et Applications, Hammamet, Tunisia, pp. 459-464, (Mai 2007)

[Revèret 00] L. Revèret, G. Bailly, and P. Badin, "*MOTHER: a new generation of talking heads providing a flexible articulatory control for video-realistic speech animation*", ICSLP, pp. 755-758, (2000).

[Riloff & Jones 99] E, RILOFF, R, JONES, "*Learning dictionaries for information extraction by multi-level bootstrapping*", National Conference on Artificial Intelligence, 474-479. (1999)

[Sallandre 10] M. A. Sallandre "Acquisition d'une langue des signes comme langue première", John Benjamins Publishing Company, (2010),

[Saussure 79] F. de Saussure, "*Cours de linguistique générale*", édition originale : 1916, : Payot, Paris, (1979).

[Seldran 11] F. Seldran "*Spécificités de l'implant electro-acoustique : Indications, interface bioélectrique et stratégie de codage*", thèse de doctorat de Université Claude Bernard - Lyon 1, Lyon (2011).

[Shannon-Weaver 49] C. Shannon et W. Weaver, "*The Mathematical Theory of Communication*", University of Illinois Press, (1949)

[Sperber 00] D. Sperber, *"La communication et le sens*", 50ème conférence de l'Université de tous les savoirs, Qu'est-ce que l'humain ? volume 2, Odile Jacob, p 119-128, (2000)

[Starner 95] T. Starner A. Pentland. "*Real-time amerian sign language reognition from video using hidden markov models*". Tehnial Report TR-375, M.I.T Media Laboratory Pereptual Computing Setion, (1995)

[Stokoe 60] W. C. STOKOE, "*Sign Language Structure, An Outline of the Visual Communication Systems of the American Deaf*", Studies in Linguistics, occasional paper n°8, Department of Anthropology and Linguistics, University of Buffalo, (1960).

[Stokoe 60] W. Stokoe, "Sign language structure : An outline of the visual communication systems of the american deaf". In Studies in Linguistic, Occasional Papers, volume 8, (1960)

[Stokoe 76] W. C. Stokoe, D. C. Casterline & C. G. Cronenberg, *"Dictionary of American Sign Language on Linguistic Principales*" (new edition). Silver Spring : Linstok press. (1976)

[Supalla 75] T, Supalla & E, Newport, "*In Search of Categorical Perception in Sign*". (1975) Manuscrit non publié, reporté dans Newport (1982).

[Tran & Maurel 06] M. TRAN, D.MAUREL, *"Prolexbase : Un dictionnaire relationnel multilingue de noms propres*", Traitement Automatique des Langues, Vol. 47(3), (2006)

[Tranchant 11] C. Tranchant, "*Construction spatiales et utilization de l'espace en Langue des signes française*", Thèse de doctorat en sciences du langage, Université Paris 8, (2011).

[Watzlawick 07] P. Watzlawick "Une logique de communication", (2007)

[Zbakh 09] K. Ahnache, N, Devos, I.Lopez Fontana, M. Zbakh, "*Pictokids*", Projet technique – Master Handi, (2009).

[Zbakh 10.a] M. Zbakh, I.Lopez Fontana, K.Ahnache, A.Mortera, J.Lopez Krahe, "Pictokids: un logiciel de communication pictographique avec sortie textuelle ou vocale", HANDICAP 2010, Paris, pp 155-160, (juin 2010)

[Zbakh 10.b] M. Zbakh, H. Daassi-Gnaba,J. Lopez Krahe, "*Tête parlante codeuse en LPC pour les sourds et les malentendants*", HANDICAP 2010, Paris, pp 16-21, (juin 2010)

[Zbakh 10.c] M. Zbakh, H. Daassi-Gnaba, J. Lopez Krahe, "*Talking head generating French cued speech for deaf and hard of hearing people*" AMSE , Vol. 71 n°3, pp 117-127. Mars (2011)

[Zbakh 11] M. Zbakh, J. Lopez Krahe, *"Reversed dictionnary : French Sign Language - French* ", DRT4ALL, Madrid, juin 2011.

[Zbakh 12] M. Zbakh, J.Lopez Krahe, "*Dictionnaire Inversé : Langue des Signes Française – Français*", HANDICAP 2012, Paris, juin (2012).

[Zbakh 14] M. Zbakh, Z, Haddad, J.Lopez Krahe, "*Toward a Reversed Dictionary of French Sign Language (FSL) on the Web*", ICCHP 2014, Part II, LNCS 8548, pp 423-430, Paris, juillet (2014).

REFERENCES INTERNET

[http://tcts.fpms.ac.be]	The EULER Project, [consulté le 01 aout 2012] . Disponible sur : http://tcts.fpms.ac.be/synthesis/euler/
[http://www.unapeda.asso.fr]	http://www.unapeda.asso.fr/article.php3?id_article=615
[http://www.axelia.com]	http://www.axelia.com/
[http://www.alpc.asso.fr]	http://www.alpc.asso.fr/code01-c.htm
[wikisign]	http://lsf.wikisign.org/wiki/Wikisign:Accueil
[LSF sur le web]	http://www2.univ-paris8.fr/ingenierie-cognition/master-handi/etudiant/projets/site_lsf/accueil/accueil.php
[CHT]	http://challenge-ht.events.univ-lorraine.fr/
[Labiao 05]	http://www-artemis.it-sudparis.eu/web2.0/project-explorer.php?id=5&action=display-project-page&pid=1080

ANNEXES

Tableaux

Matrices

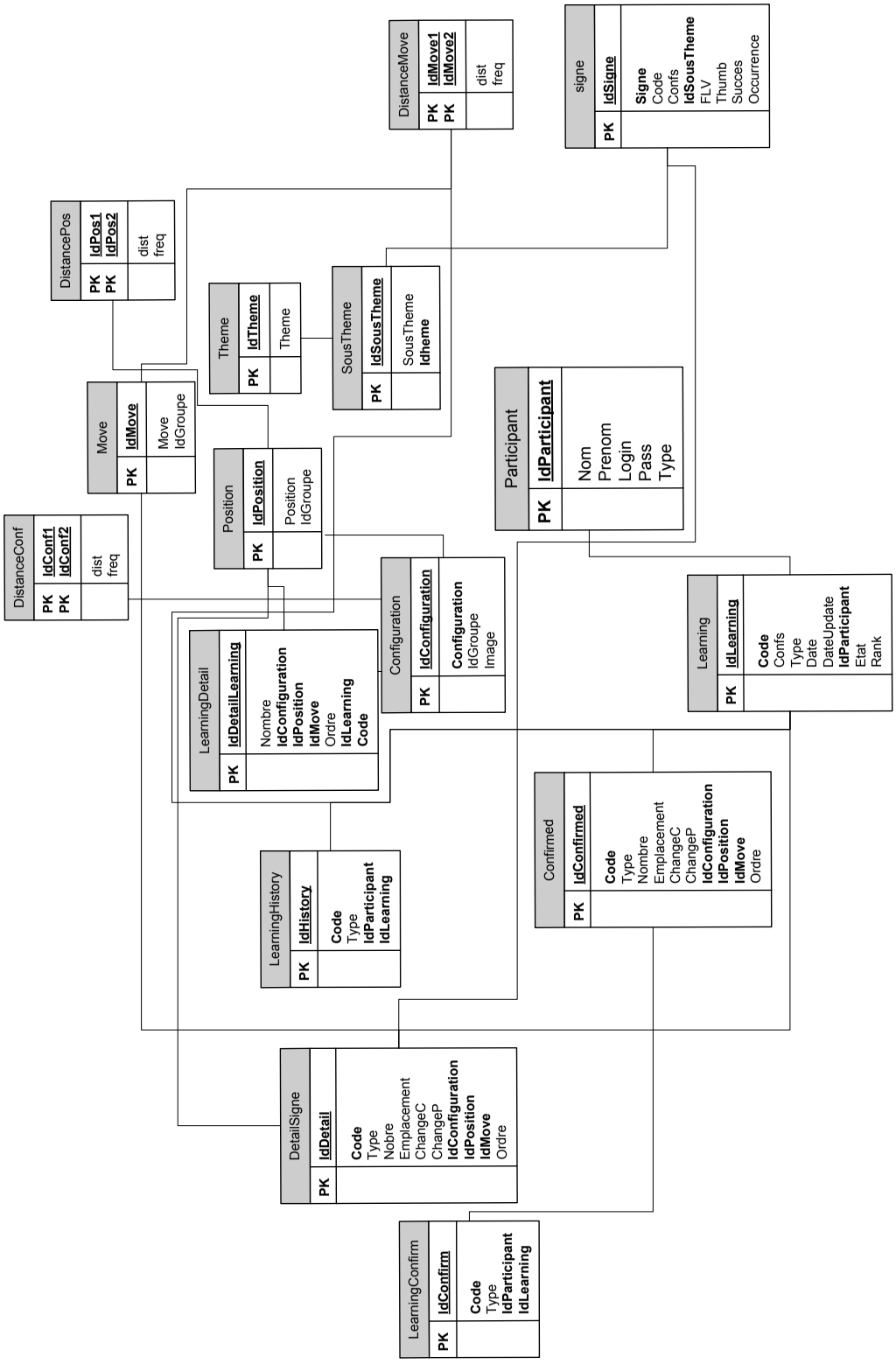
Codes

Annexe A : Liste de vocabulaire utilisé et testé dans cette étude

1	Amoureux	Cafard	Couteau	Europe	Ile/réunion	Mars
2	Amuse (joyeux)	Café	Crabe	Examen	Immeuble	Marseille
3	Ananas	Calme	Crapaud	Facile	Imperméable	Martinique
4	Angleterre	Camion	Cravate	Facteur	Informer	Mathématiques
5	Année	Campagne	Crème	Faire	Inquiet	Matin (calendrier)
10	Antilope	Canard	Crevette	Fatigue	Internet	Matin (heure)
11	Aout	Carotte	Crocodile	Faux	Islam	Même
12	Appartement	Ce matin	Cuillère	Fax	Janvier	Menteur
13	Apprendre	Ce soir	Cuisine	Femme	Jardin	Mer
14	Après-midi	Ceinture	Cuisiner	Fenêtre	Jaune	Merci
15	Après-midi (heure)	Célibataire	Culotte	Ferme	Jésus	Mercredi
20	Araignée	Cerise	Dauphin	Février	Jeudi	Mètre
22	Assiette	Chaise	Décembre	Fils (mon)	Jeune	Métro
40	Assurance	Chambre	Demain	Finlande	Jouer	Metz
45	Au revoir	Champagne	Demander	Football	Jour (calendrier)	Midi
50	Aubergine	Chapeau	Déodorant	Foudre	Jour (heure)	Minitel
100	Australie	Chat	Déprimé	Four	Journal	Minuit
200	Autocar	Chaud	Détester	Fourchette	Journée	Moche
300	Autruche	Cheminée	Dialoguer	Fraise	Jours précédents	Mois
400	Auvergne	Cheveux Blonds	Diamant	Framboise	Jours suivants	Montagne
500	Avion	Cheveux Bruns	Dieu	Franc	Judaïsme	Montpellier
1000	Avis	Cheveux Châtains	Différent	Français	Juillet	Montrer, présenter
2000	Avril	Cheveux court	Difficile	France	Juin	Moto
100000	Baleine	Chien	Dijon	Frère	Jupe	Moule
1 kilo	Banane	Chocolat	Dimanche	Frigo	Juste	Mouton
1 litre	Basket	Chocolat chaud	Dinde	Froid	Kiwi	Musée
1 milliard	Bateau	Chou-fleur	Diplôme	Gai	La boisson	Nager
1/2 heure	Bavarder	Christianisme	Dire	Garçon	La Rochelle	Nancy
1/2 litre	Beau visage	Cinéma	Divorce	Gâteau	Laid	Natation
1h	Bébé	Cirque	Dommage !	Gêner	Lapin	Nerveux/ irritable
2h	Bibliothèque	Clair	Donner	Girafe	Le diner	Nettoyer
3 millimètres	Bière (bouteille)	Clinique	Dormir	Grand	Le havre	Noix de coco
4h	Bigorneau	Coca	Douche	Grand-mère	Lille	Normandie
5 minutes	Blanc	Cochon	Droit	Grand-père	Lire	Norvège
5h	Bleu	Col roulé	Eau	Gris	Livre	Nourrir
A bientôt	Boire	Colère	Écouter	Guadeloupe	Lundi	Novembre
A Demain	Bon anniversaire	Collège	Écrire	Habiter	Lunettes	Nuage
A pieds	Bonjour	Collier	Égypte	Haricot Blanc	Lycée	Nuit (calendrier)
Absent	Bonne nuit	Combien?	Éléphant	Haricot vert	Lyon	Nuit (heure)
Adresse	Bonsoir	Ça va?	Élèves	Heureux	Mai	Océanie
Afficher, une affiche	Bordeaux	Comment?	E-mail	Hier	Maigre	Octobre
Afrique	Bouddhisme	Complique	En forme	Hippopotame	Maman	Œuf
Aimer	Bouteille	Compter	Enceinte	Histoire	Manger	Offrir
Algérie	Bowling	Concombre	Enfant	Homme	Manteau	Oignon
Allemagne	Boxe	Concubinage	Enfants	Hôpital	Marcher	Oiseau
Aller chez le dentiste	Bracelet	Content	Engueuler	Huitre	Mardi	Oncle
Aller chez le médecin	Brest	Coq	Entrer	Humide	Mariage	Or
Alsace	Bretagne	Courgette	Espagne	Hurler	Mari	Oraliser
Amérique	Bretelles	Courir	Espérer	Il est 3h00	Maroc	Orange
Ami	Bus	Cousin	Étudiants	Ile	Marron	Ou?

Ouvert	Refuser	Tant pis !
Pain	Regarder	Tante
Papa	Regret	Tarte
Papillon	Répéter	Tee-shirt
Parfum	Répondre	Téléphone
Paris	Requin	Tempête
Parler	Réussir	Thé
Partir	Réviser	Théâtre
Pastèque	Rhinocéros	Tomate
Pates	Rien	Tortue
Pauvre	Rire	Toulouse
Pêche	Robe	Train
Pêcher	Rose	Tramway
Perdre	Rouen	Travailler
Petit ami	Rouge	Triste
Peur	Roux	Tunisie
Peut-être	Rue	Un bonbon
Photocopier	Russie	Un champignon
Piment	Salade	Une clémentine
Pizza	Sale	Une noix
Pleurer	Samedi	Une pamplemousse
Pluie	Sardine	Université
Poireau	Saumon	Utile, utiliser
Poisson	Sauvage	Vache
Poivron jaune	Savoir	Veau
Poivron rouge	Se lever	Vendredi
Polisson	Se reposer	Vent
Pomme	Sel	Verglas
Pomme de terre	Semaine	Verre
Porc (viande de)	Sensible	Vert
Portable (entendants)	Septembre	Veste
Portable (sourds)	Sérieux	Veuf
Porte	Short	Viande
Poulet	Si	Vidéo
Pourquoi?	Simple	Vierge Marie
Préparer	Singe	Vietnam
Prier	Sœur	Vieux
Problème	Soir (calendrier)	Vif
Professeurs	Soir (heure)	Village
Propre	Soleil	Ville
Protestantisme	Sombre	Violet
Pull	Sortir	Voile
Punir, une punition	Souris	Voir
Quand?	Soutien-gorge	Voiture
Qui?	Stylo	Voix
Radio	Sucre	Volley
Raisin	Suède	Vouloir
Raison	Suisse	vrai
Recevoir	Table	WC
Réfléchir	Tant mieux !	Yaourt

Annexe B : Conception de la base de données du dictionnaire Inversé



Annexe C : Matrice de similarité des configurations de la main

Config	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
1	0	0,28	0,1	0,2	0,14	0,48	0,52	0,68	0,52	0,52	0,64	0,54	0,46	0,46	0,3	0,76	0,8	0,68	0,78	0,72	0,86	0,84	0,88	0,66	0,66	0,78	0,425	0,46	0,84	0,66	0,84	0,9	0,5	0,72	0,54	0,78	0,94	0,96	0,34	0,82	1	0,92	1	1	0,88	0,8	0,76	1	0,64	0,8	0,76	0,92	0,88	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,98
2	0,28	0	0,24	0,3	0,26	0,48	0,5	0,52	0,52	0,46	0,48	0,54	0,52	0,52	0,3	0,78	0,84	0,76	0,82	0,74	0,82	0,84	0,82	0,76	0,76	0,78	0,675	0,76	0,86	0,64	0,86	0,92	0,82	0,8	0,76	0,78	0,78	0,9	0,5	0,34	0,82	1	1	0,98	0,86	0,82	0,84	0,94	0,88	0,84	0,84	0,88	0,84	0,94	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
3	0,1	0,24	0	0,14	0,14	0,48	0,52	0,68	0,48	0,46	0,66	0,52	0,48	0,5	0,32	0,8	0,84	0,72	0,8	0,74	0,9	0,88	0,9	0,68	0,68	0,8	0,65	0,48	0,86	0,6	0,82	0,9	0,7	0,82	0,62	0,78	0,86	0,94	0,26	0,76	1	0,92	0,96	0,98	0,94	0,88	0,9	1	0,68	0,86	0,78	0,94	0,86	0,92	0,96	0,98	0,98	1	0,98
4	0,2	0,3	0,14	0	0,16	0,5	0,4	0,68	0,34	0,48	0,66	0,54	0,46	0,5	0,24	0,78	0,82	0,7	0,76	0,72	0,88	0,88	0,9	0,7	0,64	0,76	0,65	0,42	0,82	0,58	0,8	0,86	0,64	0,78	0,66	0,8	0,88	0,94	0,42	0,78	1	0,92	0,96	0,98	0,9	0,88	2,9	0,98	0,78	0,86	0,86	0,92	0,88	0,96	0,98	0,98	0,98	0,96	0,96
5	0,14	0,26	0,14	0,16	0	0,46	0,52	0,7	0,42	0,54	0,66	0,56	0,46	0,5	0,24	0,8	0,86	0,74	0,8	0,76	0,88	0,86	0,88	0,68	0,64	0,78	0,65	0,54	0,86	0,68	0,84	0,86	0,58	0,72	0,6	0,78	0,84	0,88	0,4	0,74	0,98	0,98	0,98	0,98	0,94	0,88	0,88	1	0,76	0,88	0,86	0,96	0,94	0,975	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
6	0,48	0,48	0,48	0,5	0,46	0	0,26	0,42	0,38	0,26	0,54	0,3	0,6	0,6	0,46	0,36	0,54	0,56	0,44	0,46	0,54	0,54	0,68	0,44	0,54	0,42	0,775	0,64	0,62	0,72	0,74	0,78	0,56	0,58	0,86	0,34	0,78	0,82	0,86	0,86	0,86	0,86	0,88	0,86	0,84	0,72	0,68	0,94	0,88	0,8	0,9	0,82	0,88	0,54	0,92	0,92	0,92	0,94	0,92
7	0,52	0,5	0,52	0,4	0,52	0,26	0	0,5	0,16	0,28	0,28	0,3	0,52	0,54	0,42	0,64	0,74	0,4	0,56	0,78	0,8	0,72	0,76	0,44	0,68	0,72	0,8	0,62	0,68	0,8	0,82	0,84	0,82	0,82	0,56	0,34	0,52	0,78	0,58	0,84	0,98	0,94	0,98	0,92	0,96	0,8	0,76	0,98	0,72	0,86	0,86	0,92	0,9	0,94	0,9	0,94	0,94	0,92	0,94
8	0,68	0,52	0,68	0,68	0,7	0,42	0,5	0	0,46	0,4	0,26	0,26	0,6	0,52	0,66	0,52	0,56	0,76	0,6	0,84	0,26	0,64	0,42	0,74	0,8	0,76	0,775	0,88	0,74	0,76	0,66	0,78	0,94	0,92	0,94	0,46	0,82	0,86	0,96	0,86	0,66	0,9	0,9	0,88	0,8	0,9	0,86	0,9	0,94	0,94	0,96	0,92	0,94	0,94	0,92	0,96	0,96	0,94	0,94
9	0,52	0,52	0,48	0,34	0,42	0,38	0,16	0,46	0	0,32	0,32	0,26	0,4	0,44	0,48	0,6	0,7	0,5	0,6	0,76	0,7	0,62	0,74	0,44	0,62	0,7	0,75	0,66	0,66	0,78	0,84	0,86	0,8	0,82	0,66	0,52	0,66	0,82	0,78	0,82	0,94	0,94	0,92	0,9	0,84	0,82	0,9	0,975	0,78	0,9	0,76	0,9	0,94	0,925	0,9	0,94	0,94	0,98	0,94
10	0,52	0,46	0,46	0,48	0,54	0,26	0,28	0,4	0,32	0	0,42	0,26	0,26	0,22	0,44	0,66	0,74	0,68	0,66	0,34	0,8	0,46	0,82	0,8	0,42	0,4	0,7	0,82	0,78	0,78	0,8	0,88	0,6	0,48	0,76	0,32	0,72	0,78	0,76	0,84	0,96	0,94	0,96	0,94	0,76	0,7	0,92	0,98	0,86	0,8	0,9	0,82	0,82	0,78	0,86	0,86	0,88	0,98	0,96
11	0,64	0,48	0,66	0,66	0,66	0,54	0,28	0,26	0,32	0,42	0	0,48	0,42	0,34	0,32	0,74	0,8	0,46	0,66	0,78	0,76	0,76	0,78	0,62	0,5	0,7	0,5	0,6	0,84	0,86	0,86	0,88	0,76	0,62	0,48	0,46	0,4	0,66	0,8	0,7	0,84	0,98	0,98	0,96	0,82	0,88	0,92	0,94	0,74	0,86	0,76	0,94	0,82	0,72	0,86	0,92	0,94	0,92	0,96
12	0,54	0,54	0,52	0,54	0,56	0,3	0,3	0,26	0,26	0,26	0,48	0	0,54	0,5	0,6	0,36	0,5	0,52	0,44	0,68	0,4	0,42	0,74	0,68	0,78	0,76	0,775	0,84	0,36	0,74	0,74	0,78	0,9	0,9	0,86	0,32	0,9	0,76	0,86	0,88	0,88	0,86	0,8	0,86	0,86	0,94	0,94	0,96	0,9	0,98	0,94	0,88	0,92	0,94	0,94	0,96	0,96	0,88	0,9
13	0,46	0,52	0,48	0,46	0,46	0,6	0,52	0,6	0,4	0,26	0,42	0,54	0	0,12	0,22	0,72	0,78	0,76	0,76	0,74	0,84	0,84	0,86	0,74	0,48	0,58	0,35	0,42	0,8	0,76	0,78	0,9	0,34	0,46	0,54	0,72	0,66	0,88	0,66	0,8	0,96	0,94	0,94	0,96	0,92	0,8	0,86	0,975	0,84	0,78	0,84	0,92	0,42	0,5	0,6	0,76	0,76	0,8	0,82
14	0,46	0,52	0,5	0,5	0,5	0,6	0,54	0,52	0,44	0,22	0,34	0,5	0,12	0	0,3	0,76	0,78	0,78	0,78	0,4	0,86	0,84	0,88	0,76	0,52	0,62	0,45	0,48	0,78	0,74	0,76	0,88	0,46	0,32	0,58	0,72	0,6	0,8	0,76	0,86	0,95	0,96	0,96	0,96	0,94	0,86	0,86	0,975	0,84	0,78	0,86	0,92	0,5	0,425	0,7	0,84	0,78	0,86	0,84
15	0,3	0,3	0,32	0,24	0,24	0,46	0,42	0,66	0,48	0,44	0,32	0,6	0,22	0,3	0	0,76	0,82	0,8	0,76	0,64	0,86	0,86	0,86	0,72	0,42	0,78	0,325	0,14	0,82	0,8	0,84	0,86	0,34	0,5	0,2	0,58	0,56	0,72	0,4	0,8	1	0,96	1	1	0,92	0,86	0,8	1	0,74	0,76	0,86	0,92	0,54	0,6	0,64	0,78	0,78	0,86	0,8
16	0,76	0,78	0,8	0,78	0,8	0,36	0,64	0,52	0,6	0,86	0,74	0,36	0,72	0,76	0,76	0	0,16	0,2	0,22	0,42	0,24	0,44	0,48	0,46	0,62	0,38	0,775	0,84	0,66	0,82	0,82	0,62	0,92	0,92	0,92	0,46	0,9	0,84	0,96	0,96	0,8	0,82	0,78	0,78	0,88	0,88	0,92	0,9	0,7	0,96	0,96	0,96	0,96	0,92	0,9					
17	0,8	0,84	0,84	0,82	0,86	0,54	0,74	0,56	0,7	0,74	0,8	0,5	0,78	0,78	0,82	0,16	0	0,14	0,38	0,36	0,44	0,32	0,24	0,54	0,7	0,62	0,75	0,84	0,68	0,8	0,82	0,48	0,92	0,92	0,92	0,68	0,84	0,88	0,96	0,98	0,9	0,8	0,9	0,86	0,88	0,94	0,94	0,78	0,82	0,88	0,92	0,68	0,9	0,9	0,9	0,88	0,88	0,9	0,86
18	0,68	0,76	0,72	0,7	0,74	0,56	0,4	0,76	0,5	0,88	0,46	0,52	0,76	0,78	0,8	0,2	0,14	0	0,46	0,36	0,56	0,6	0,64	0,14	0,66	0,48	0,55	0,4	0,72	0,78	0,8	0,64	0,86	0,8	0,74	0,72	0,58	0,74	0,74	0,78	0,92	0,9	0,96	0,94	0,96	0,92	0,94	0,82	0,64	0,86	0,66	0,74	0,9	0,92	0,96	0,94	0,94	0,92	0,92
19	0,78	0,82	0,8	0,76	0,8	0,44	0,56	0,6	0,6	0,66	0,66	0,44	0,76	0,78	0,76	0,22	0,38	0,46	0	0,6	0,52	0,56	0,65	0,58	0,72	0,62	0,75	0,84	0,76	0,82	0,84	0,74	0,88	0,88	0,92	0,6	0,86	0,84	0,9	0,9	0,82	0,84	0,86	0,86	0,92	0,94	0,92	0,875	0,84	0,94	0,92	0,78	0,86	0,875	0,88	0,86	0,88	0,86	0,9
20	0,72	0,74	0,74	0,72	0,76	0,46	0,78	0,84	0,76	0,34	0,78	0,68	0,84	0,4	0,64	0,42	0,36	0,36	0,6	0	0,52	0,5	0,54	0,44	0,24	0,14	0,4	0,68	0,86	0,88	0,88	0,78	0,54	0,44	0,64	0,56	0,8	0,68	0,88	0,96	0,9	0,86	0,88	0,86	0,64	0,54	0,64	0,92	0,86	0,5	0,84	0,66	0,82	0,74	0,78	0,78	0,84	0,86	0,86
21	0,86	0,82	0,9	0,88	0,88	0,54	0,8	0,26	0,7	0,8	0,76	0,4	0,84	0,86	0,86	0,24	0,44	0,56	0,52	0,52	0	0,54	0,24	0,6	0,58	0,56	0,725	0,78	0,78	0,86	0,78	0,66	0,9	0,92	0,92	0,8	0,88	0,84	0,96	0,9	0,54	0,72	0,8	0,78	0,84	0,9	0,82	0,8	0,96	0,92	0,94	0,76	0,94	0,92	0,94	0,94	0,94	0,96	0,94
22	0,84	0,84	0,88	0,88	0,86	0,54	0,72	0,64	0,62	0,46	0,76	0,42	0,84	0,84	0,86	0,44	0,32	0,6	0,56	0,5	0,54	0	0,34	0,64	0,64	0,34	0,7	0,78	0,76	0,92	0,84	0,62	0,88	0,94	0,92	0,78	0,96	0,8	0,94	0,96	0,84	0,84	0,88	0,84	0,88	0,86	0,88	0,82	0,9	0,9	0,96	0,7	0,84	0,9	0,9	0,9	0,9	0,72	0,7
23	0,88	0,82	0,9	0,9	0,88	0,68	0,76	0,42	0,74	0,82	0,78	0,74	0,86	0,88	0,86	0,48	0,24	0,64	0,65	0,54	0,24	0,34	0	0,66	0,72	0,56	0,775	0,84	0,8	0,88	0,82	0,58	0,94	0,94	0,94	0,86	0,88	0,66	0,88	0,9	0,54	0,82	0,8	0,8	0,68	0,84	0,82	0,48	0,86	0,92	0,8	0,7	0,8	0,78	0,86	0,86	0,86	0,92	0,9
24	0,66	0,76	0,68	0,7	0,68	0,44	0,44	0,74	0,44	0,8	0,62	0,68	0,74	0,76	0,72	0,46	0,54	0,14	0,58	0,44	0,6	0,64	0,66	0	0,56	0,5	0,475	0,38	0,78	0,9	0,9	0,7	0,72	0,7	0,64	0,74	0,52	0,7	0,74	0,74	0,92	0,88	0,84	0,92	0,76	0,78	0,82	0,72	0,56	0,7	0,48	0,76	0,9	0,92	0,92	0,88	0,88	0,92	0,88
25	0,66	0,76	0,68	0,64	0,64	0,54	0,68	0,8	0,62	0,42	0,5	0,78	0,48	0,52	0,42	0,62	0,7	0,66	0,72	0,24	0,58	0,64	0,72	0,56	0	0,46	0,3	0,4	0,82	0,88	0,88	0,8	0,54	0,54	0,58	0,76	0,78	0,84	0,8	0,88	0,94	0,94	0,94	0,94	0,7	0,54	0,62	0,88	0,86	0,66	0,92	0,88	0,68	0,72	0,78	0,8	0,78	0,9	0,84
26	0,78	0,78	0,8	0,76	0,78	0,42	0,72	0,76	0,7	0,4	0,7	0,76	0,58	0,62	0,78	0,38	0,62	0,48	0,62	0,14	0,56	0,34	0,56	0,5	0,46	0	0,45	0,62	0,84	0,9	0,88	0,64	0,48	0,44	0,8	0,56	0,68	0,72	0,84	0,88	0,94	0,92	0,96	0,94	0,48	0,48	0,7	0,88	0,86	0,58	0,92	0,72	0,84	0,82	0,84	0,84	0,84	0,9	0,88
27	0,425	0,675	0,65	0,65	0,65	0,775	0,8	0,775	0,75	0,7	0,5	0,75	0,35	0,45	0,325	0,775	0,75	0,55	0,75	0,4	0,725	0,7	0,775	0,475	0,3	0,45	0	0,24	0,86	0,88	0,88	0,86	0,5	0,62	0,32	0,56	0,58	0,7	0,5	0,74	0,9	0,92	0,92	0,9	0,78	0,82	0,72	0,925	0,68	0,76	0,7	0,82	0,66	0,75	0,7	0,8	0,82	0,94	0,84
28	0,46	0,76	0,48	0,42	0,54	0,64	0,62	0,88	0,66	0,82	0,6	0,84	0,42	0,48	0,14	0,84	0,84	0,4	0,84	0,68	0,78	0,78	0,84	0,38	0,4	0,62	0,24	0	0,88	0,86	0,9	0,92	0,3	0,52	0,14	0,64	0,6	0,68	0,38	0,74	0,98	0,92	0,98	0,94	0,92	0,82	0,72	0,98	0,64	0,8	0,7	0,88	0,62	0,7	0,66	0,78	0,78	0,86	0,7
29	0,84	0,86	0,86	0,82	0,86	0,62	0,68	0,74	0,66	0,78	0,84	0,36	0,8	0,78	0,82	0,66	0,68	0,72	0,76	0,86	0,78	0,76	0,8	0,78	0,82	0,84	0,86	0,88	0	0,28	0,28	0,62	0,88	0,92	0,84	0,7	0,88	0,84	0,86	0,88	0,88	0,8	0,76	0,78	0,82	0,88	0,86	0,88	0,94	0,84	0,84	0,58	0,82	0,88	0,92	0,9	0,9	0,68	0,56
30	0,66	0,64	0,6	0,58	0,68	0,72	0,8	0,76	0,78	0,78	0,86	0,74	0,76	0,74	0,8	0,82	0,8	0,78	0,82	0,88	0,86	0,92	0,88	0,9	0,88	0,9	0,88	0,86	0,28	0	0,22	0,84	0,82	0,84	0,8	0,8	0,92	0,88	0,84	0,82	0,9	0,86	0,82	0,82	0,88	0,9	0,96	0,9	0,86	0,94	0,92	0,84	0,78	0,86	0,88	0,9	0,92	0,82	0,8
31	0,84	0,36	0,82	0,8	0,84	0,74	0,82	0,66	0,84	0,8	0,86	0,74	0,78	0,76	0,84	0,82	0,82	0,8	0,84	0,88	0,78	0,84	0,82	0,9	0,88	0,88	0,88	0,9	0,78	0,88	0,88	0,84	0,8	0,88	0,88	0,86	0,82	0,88	0,9	0,76	0,94	0,92	0,92	0,78	0,78	0,88	0,86	0,86	0,9	0,8	0,78	0,88	0,86	0,86	0,9	0,8	0,78
32	0,9	0,92	0,9	0,86	0,86	0,78	0,84	0,78	0,86	0,88	0,88	0,78	0,9	0,88	0,86	0,62	0,48	0,64	0,74	0,78	0,66	0,62	0,58	0,7	0,8	0,64	0,86	0,92	0,62	0,84	0,78	0	0,88	0,94	0,96	0,84	0,84	0,72	0,94	0,92	0,74	0,68	0,76	0,66	0,66	0,76	0,82	0,575	0,72	0,72	0,7	0,46	0,78	0,75	0,64	0,7	0,7	0,76	0,74
33	0,5	0,82	0,7	0,64	0,58	0,56	0,82	0,94	0,8	0,6	0,76	0,9	0,34	0,46	0,34	0,92	0,92	0,88	0,88	0,54	0,9	0,88	0,94	0,72	0,54	0,48	0,5	0,3	0,88	0,82	0,88	0,88	0	0,14	0,22	0,68	0,5	0,66	0,64	0,8	0,96	0,96	0,92	0,92	0,62	0,36	0,62	0,86	0,68	0,4	0,8	0,82	0,44	0,56	0,68	0,68	0,68	0,7	0,7
34	0,72	0,8	0,82	0,78	0,72	0,58	0,82	0,92	0,82	0,48	0,62	0,9	0,46	0,32	0,5	0,92	0,92	0,8	0,88	0,44	0,92	0,94	0,94	0,7	0,54	0,44	0,62	0,52	0,92	0,84	0,88	0,94	0,14	0	0,46	0,86	0,4	0,44	0,4	0,76	0,7	0,76	0,78	0,66	0,4	0,28	0,44	0,88	0,62	0,42	0,78	0,88	0,7	0,6	0,74	0,84	0,84	0,74	0,78
35	0,54	0,76	0,62	0,66	0,6	0,86	0,56	0,94	0,66	0,76	0,48	0,86	0,54	0,58	0,2	0,92	0,92	0,74	0,92	0,64	0,92	0,92	0,94	0,64	0,58	0,8	0,32	0,14	0,84	0,8	0,84	0,96	0,96	0,22	0,46	0	0,56	0,36	0,58	0,42	0,72	0,96	0,96	0,96	0,96	0,94	0,9	0,82	0,64	0,94	0,7	0,6	0,66	0,88	0,6	0,76	0,66	0,74	0,76	0,84	0,84
36	0,78	0,78	0,78	0,8	0,78	0,34	0,34	0,46	0,52	0,32	0,46	0,32	0,72	0,72	0,58	0,46	0,68	0,72	0,6	0,56	0,8	0,78	0,86	0,74	0,76	0,56	0,56	0,64	0,7	0,8	0,8	0,84	0,68	0,66	0,56	0	0,72	0,74	0,82	0,8	0,9	0,94	0,94	0,9	0,82	0,72	0,72	0,88	0,86	0,72	0,88	0,78	0,74	0,72	0,8	0,86	0,84	0,9	0,84
37	0,94	0,78	0,86	0,88	0,84	0,78	0,52	0,82	0,66	0,72	0,4	0,9	0,66	0,6	0,56	0,9	0,84	0,58	0,86	0,8	0,88	0,96	0,88	0,52	0,78	0,68	0,58	0,6	0,88	0,92	0,86	0,84	0,5	0,4	0,36	0,72	0	0,22	0,54	0,32	0,58	0,8	0,72	0,74	0,62	0,62	0,52	0,58	0,42	0,58	0,46	0,54	0,84	0,86	0,88	0,84	0,84	0,78	0,8
38	0,96	0,9	0,94	0,94	0,88	0,82	0,78	0,86	0,82	0,78	0,66	0,76	0,88	0,8	0,72	0,84	0,88	0,74	0,84	0,68	0,84	0,8	0,66	0,7	0,84	0,72	0,7	0,68	0,84	0,88	0,88	0,72	0,66	0,44	0,58	0,74	0,22	0	0,66	0,56	0,56	0,68	0,66	0,58	0,42	0,46	0,44	0,45	0,34	0,34	0,52	0,62	0,86	0,775	0,76	0,8	0,8	0,72	0,78
39	0,34	0,5	0,26	0,42	0,4	0,86	0,58	0,96	0,78	0,76	0,8	0,86	0,66	0,76	0,4	0,96	0,96	0,74	0,9	0,88	0,96	0,94	0,88	0,74	0,8	0,84	0,5	0,38	0,86	0,84	0,86	0,94	0,64	0,4	0,42	0,82	0,54	0,66	0	0,3	0,82	0,8	0,82	0,8	0,78	0,7	0,68	0,76	0,34	0,7	0,34	0,58	0,92	0,92	0,88	0,92	0,92	0,9	0,9
40	0,82	0,34	0,76	0,78	0,74	0,86	0,84	0,86	0,82	0,84	0,7	0,88	0,8	0,86	0,8	0,96	0,98	0,78	0,9	0,96	0,9	0,96	0,9	0,96	0,9	0,74	0,88	0,88	0,74	0,74	0,88	0,82	0,62	0,92	0,8	0,76	0,72	0,8	0,32	0,56	0,3	0	0,38	0,64	0,68	0,72	0,62	0,56	0,54	0,64	0,38	0,74	0,48	0,52	0,86	0,88	0,88	0,9	0,88	0,88
41	1	0,82	1	1	0,98	0,86	0,98	0,66	0,94	0,96	0,84	0,88	0,96	0,95	1	0,8	0,9	0,92	0,82	0,9	0,54	0,84	0,54	0,92	0,94	0,94	0,9	0,98	0,88	0,9	0,72	0,74	0,96	0,7	0,96	0,9	0,58	0,56	0,82	0,38	0	0,18	0,18	0,18	0,38	0,46	0,46	0,26	0,52	0,74	0,76	0,48	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,78	0,78
42	0,92	1	0,92	0,92	0,98	0,86	0,94	0,9	0,94	0,94	0,98	0,86	0,94	0,96	0,96	0,82	0,8	0,9	0,84	0,86	0,72	0,84	0,82	0,88	0,94	0,92	0,92	0,92	0,8	0,86	0,88	0,68	0,96	0,76	0,96	0,94	0,72	0,66	0,82	0,68	0,18	0	0,12	0,12	0,38	0,38	0,5	0,36	0,52	0,72	0,66	0,26	0,92	0,82	0,84	0,9	0,88	0,9	0,8
43	1	1	0,96	0,96	0,98	0,88	0,94	0,9	0,92	0,96	0,98	0,8	0,94	0,96	1	0,78	0,9	0,96	0,86	0,88	0,8	0,88	0,8	0,84	0,94	0,96	0,92	0,98	0,76	0,82	0,88	0,76	0,92	0,78	0,96	0,94	0,72	0,66	0,82	0,68	0,18	0,12	0	0,14	0,36	0,36	0,48	0,34	0,46	0,66	0,68	0,46	0,88	0,86	0,86	0,92	0,9	0,82	0,82
44	1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,86	0,92	0,88	0,9	0,94	0,96	0,86	0,96	0,96	1	0,78	0,86	0,94	0,86	0,86	0,78	0,84	0,8	0,92	0,94	0,94	0,9	0,94	0,78	0,82	0,88	0,66	0,96	0,94	0,94	0,78	0,82	0,88

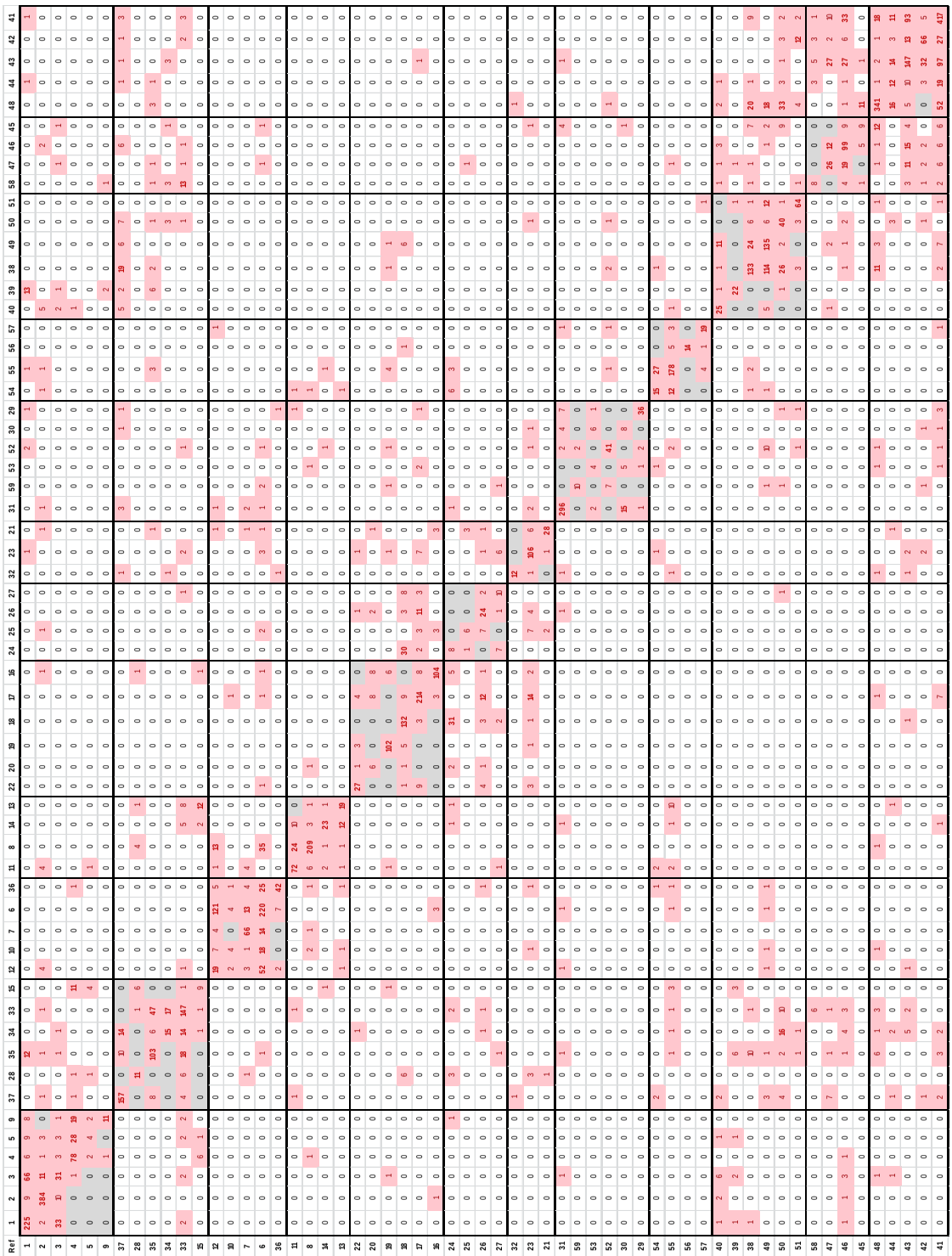
Annexe D : Matrice de distance des emplacements de la main

	HC	HN	HF	TC	TN	TF	AC	AN	AF	RC	RN	RF	LC	LN	LF
HC	0	1	2	1	2	3	2	3	4	2	3	4	2	3	4
HN	1	0	1	2	1	2	3	2	3	3	2	3	3	2	3
HF	2	1	0	2	2	1	4	3	2	4	3	2	4	3	2
TC	1	2	2	0	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
TN	2	1	2	1	0	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2
TF	3	2	1	2	1	0	3	2	1	3	2	1	3	2	1
AC	2	3	4	1	2	3	0	1	2	1	2	3	1	2	3
AN	3	2	3	2	1	2	1	0	1	2	1	2	2	1	2
AF	4	3	2	3	2	1	2	1	0	3	2	1	3	2	1
RC	2	3	4	1	2	3	1	2	3	0	1	2	2	3	4
RN	3	2	3	2	1	2	2	1	2	1	0	1	3	2	3
RF	4	3	2	3	2	1	3	2	1	2	1	0	4	3	2
LC	2	3	4	1	2	3	1	2	3	2	3	4	0	1	2
LN	3	2	3	2	1	2	2	1	2	3	2	3	1	0	1
LF	4	3	2	3	2	1	3	2	1	4	3	2	2	1	0

Annexe E : Matrice des distances des mouvements de la main

	D1	C0	ON	IT	R1	D2	SP	UN	R2	C4	0
D1	0	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1
C0	1	0	1	2	1	2	2	2	2	2	1
ON	1	1	0	1	1	2	2	2	2	2	2
IT	1	2	1	0	2	2	1	1	2	2	1
R1	2	1	1	2	0	2	2	2	1	1	1
D2	1	2	2	2	2	0	2	1	2	1	2
SP	2	2	2	1	2	2	0	1	2	2	2
UN	2	2	2	1	2	1	1	0	2	2	2
R2	2	2	2	2	1	2	2	2	0	2	3
C4	2	2	2	2	1	1	2	2	2	0	3
0	1	1	2	1	1	2	2	2	3	3	0

Annexe F : Matrice de confusion des configurations

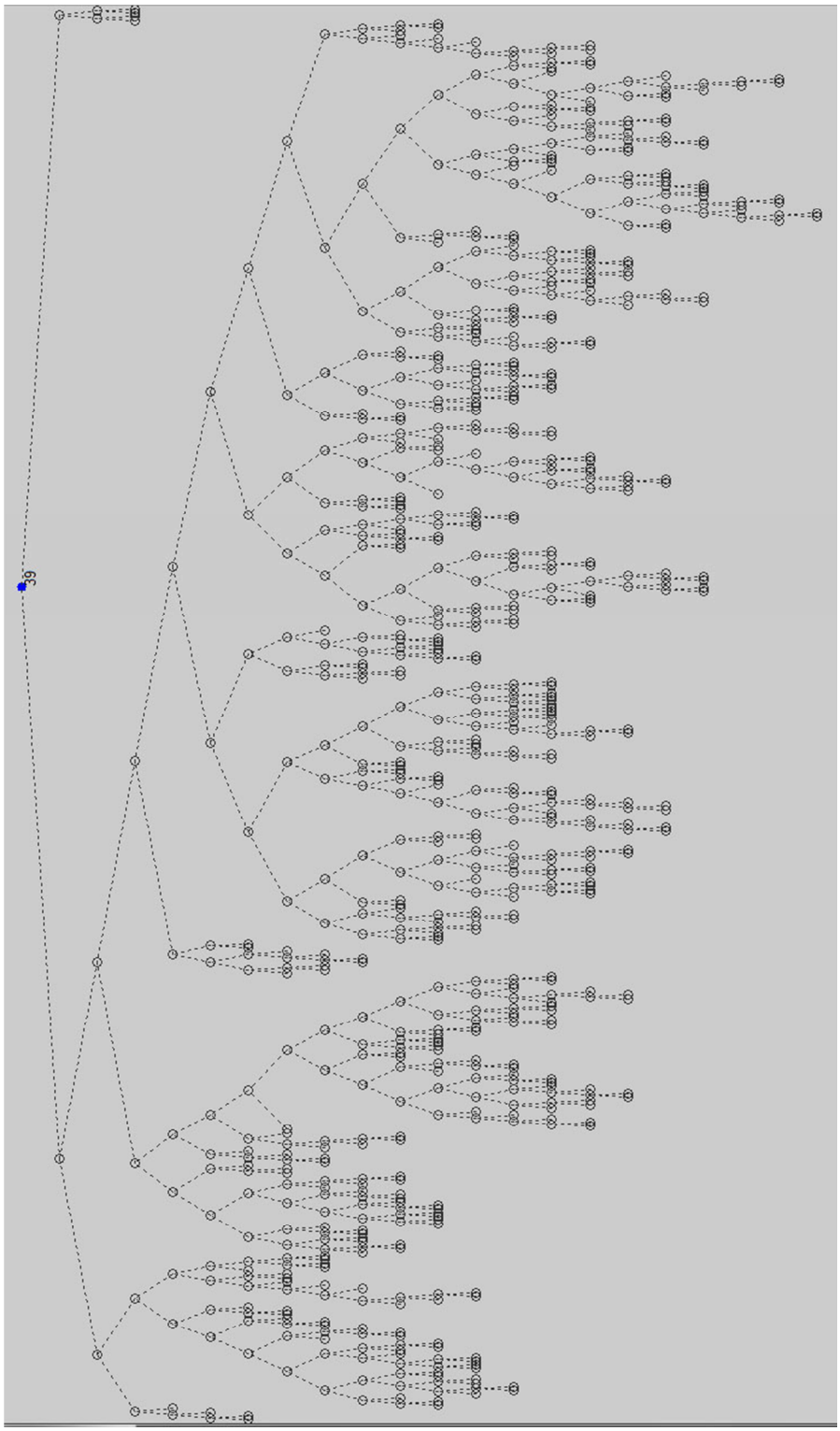


Annexe G : Résultat de réseau de neurones pour 8 signes (48,861%)

Sortie système	Sortie réseau de neurones							
39	121	260	438	124	378	39	492	467
121	121	124	260	492	438	39	467	378
124	260	438	378	124	39	121	492	467
260	260	121	124	438	492	39	378	467
378	378	260	438	124	39	492	467	121
438	378	260	438	124	121	39	492	467
467	260	438	124	378	121	39	492	467
492	378	260	124	438	121	39	492	467
39	378	121	124	438	260	39	492	467
39	378	121	124	438	260	39	492	467
438	260	378	438	39	124	492	121	467
438	260	378	438	39	124	492	121	467
467	260	438	121	124	39	378	492	467
467	260	438	121	124	39	378	492	467
438	260	378	438	124	121	39	492	467
438	260	378	438	124	121	39	492	467
492	378	39	121	124	492	438	467	260
438	260	378	121	124	438	39	492	467
438	260	378	121	124	438	39	492	467
121	121	124	260	492	438	467	378	39
121	121	124	260	492	438	467	378	39
121	121	124	492	260	438	467	378	39
121	121	124	492	260	438	467	378	39
492	39	378	121	124	492	438	260	467
467	378	121	39	124	438	492	467	260
260	260	121	124	438	39	492	378	467
260	260	121	124	438	39	492	378	467
39	260	121	378	124	438	39	492	467
39	260	121	378	124	438	39	492	467
378	378	39	124	492	438	121	467	260
467	378	39	124	492	438	121	467	260
260	260	121	438	124	378	492	39	467
260	260	121	438	124	378	492	39	467
438	260	378	438	124	39	492	467	121
438	260	378	438	124	39	492	467	121
378	378	39	124	492	438	467	121	260
124	121	124	438	39	260	492	467	378
438	260	121	124	438	492	39	467	378
438	260	121	124	438	492	39	467	378
467	378	39	124	492	467	438	121	260
39	39	124	121	492	467	438	378	260
378	378	438	124	39	121	492	260	467
378	378	438	124	39	121	492	260	467
260	260	378	438	124	39	492	467	121
260	260	378	438	124	39	492	467	121
121	121	39	467	438	124	492	260	378
124	260	438	378	124	39	121	492	467
124	260	438	378	124	39	121	492	467
438	260	121	124	438	492	39	467	378
438	260	121	124	438	492	39	467	378
39	121	378	124	438	260	39	492	467
39	121	378	124	438	260	39	492	467
467	378	121	39	124	438	492	467	260
492	378	121	39	124	438	492	467	260
378	378	260	438	124	39	492	467	121
378	378	260	438	124	39	492	467	121
260	260	121	124	438	378	492	39	467
260	260	121	124	438	378	492	39	467
121	121	260	438	124	39	492	467	378
121	121	260	438	124	39	492	467	378
124	121	124	39	438	260	492	467	378
438	260	121	438	124	492	39	467	378
438	260	121	438	124	492	39	467	378
39	121	260	124	39	438	492	378	467
39	121	260	124	39	438	492	378	467
467	39	378	121	124	492	438	260	467
492	39	378	121	124	492	438	260	467
260	260	378	39	121	492	124	438	467
260	260	378	39	121	492	124	438	467
121	121	260	124	39	438	492	378	467
124	121	124	39	438	260	492	467	378
39	121	260	124	39	438	378	492	467
39	121	260	124	39	438	378	492	467
492	121	378	39	124	438	492	260	467
467	378	121	39	124	438	492	467	260
492	378	121	39	124	438	492	467	260
492	121	378	39	124	438	492	260	467

Sortie système	Sortie réseau de neurones							
260	260	121	124	438	492	378	39	467
260	260	121	124	438	492	378	39	467
378	378	121	39	124	438	492	467	260
124	121	124	39	438	260	492	467	378
121	121	39	467	438	124	492	378	260
39	378	121	124	438	260	39	492	467
39	378	121	124	438	260	39	492	467
467	378	121	39	124	438	492	467	260
438	378	260	121	124	438	39	492	467
438	378	260	121	124	438	39	492	467
378	378	39	124	492	438	121	467	260
124	121	124	39	438	260	492	467	378
39	378	121	124	438	260	39	492	467
39	378	121	124	438	260	39	492	467
467	378	260	438	124	121	39	492	467
467	378	260	438	124	121	39	492	467
260	260	121	124	438	39	492	378	467
260	260	121	124	438	39	492	378	467
124	121	124	39	438	260	492	467	378
378	378	438	124	39	121	492	467	260
378	378	438	124	39	121	492	467	260
121	121	39	467	438	124	492	260	378
467	121	260	124	438	39	492	467	378
467	121	260	124	438	39	492	467	378
492	121	378	39	124	438	492	260	467
260	260	121	124	438	492	39	378	467
260	260	121	124	438	492	39	378	467
121	121	39	467	438	124	492	378	260
124	121	124	39	438	260	492	467	378
492	39	378	121	124	492	438	260	467
378	378	121	124	438	492	378	39	467
378	378	121	39	124	438	492	467	260
438	378	124	260	39	121	492	438	467
39	121	260	438	124	378	39	492	467
39	121	260	438	124	378	39	492	467
492	121	378	39	124	438	492	260	467
378	378	260	438	124	39	492	121	467
378	378	260	438	124	39	492	121	467
260	260	121	438	124	492	39	467	378
260	260	121	438	124	492	39	467	378
121	121	124	378	260	492	438	39	467
121	121	124	378	260	492	438	39	467
124	121	39	124	260	492	438	378	467
438	260	121	438	124	492	39	467	378
438	260	121	438	124	492	39	467	378
39	121	260	124	39	438	492	378	467
39	121	260	124	39	438	492	378	467
467	121	124	39	260	438	492	467	378
492	39	378	121	124	492	438	260	467
378	124	438	260	39	121	492	467	378
124	121	39	124	260	492	438	378	467
260	260	121	438	378	124	492	39	467
260	260	121	438	378	124	492	39	467
121	121	39	438	467	124	492	260	378
39	121	260	124	378	438	39	492	467
39	121	260	124	378	438	39	492	467
124	260	378	124	39	121	492	438	467
121	121	39	467	438	124	492	378	260
260	260	121	438	124	492	378	39	467
260	260	121	438	124	492	378	39	467
39	260	378	121	438	124	39	467	492
39	260	378	121	438	124	39	467	492
438	378	260	438	124	39	492	467	121
438	378	260	438	124	39	492	467	121
378	378	260	438	124	39	492	467	121
378	378	260	438	124	39	492	467	121
260	260	121	438	124	492	378	39	467
260	260	121	438	124	492	378	39	467
121	121	39	467	438	124	492	378	260
124	260	378	124	39	121	492	438	467
39	260	378	438	124	39	121	492	467
39	260	378	438	124	39	121	492	467
438	378	260	438	124	39	492	467	121
438	378	260	438	124	39	492	467	121
467	378	39	124	492	438	121	467	260
492	39	378	121	124	492	438	260	467
378	378	39	124	492	438	121	467	260

Annexe H : Résultat de l'arbre de décision



Annexe I : Résultats des fonctions pondérées triés par le nombre total des signes

Coefficients				Résultats					Total
c	p	m	n	1er	2nd	3eme	4eme	5eme	
0,41	0,27	0,23	0,09	316	84	62	43	15	**520**
0,34	0,31	0,24	0,1	308	83	56	56	17	**520**
0,43	0,26	0,22	0,09	306	90	59	46	18	**519**
0,45	0,27	0,23	0,05	317	93	41	37	30	**518**
0,38	0,27	0,27	0,08	324	85	40	42	26	**517**
0,42	0,26	0,21	0,11	311	89	63	30	23	**516**
0,39	0,3	0,26	0,04	320	82	46	38	29	**515**
0,47	0,24	0,24	0,06	318	89	58	30	20	**515**
0,46	0,23	0,23	0,08	314	88	62	32	19	**515**
0,42	0,29	0,21	0,08	301	89	63	37	25	**515**
0,44	0,28	0,22	0,06	321	92	44	41	16	**514**
0,38	0,29	0,24	0,1	318	83	55	37	21	**514**
0,45	0,23	0,23	0,09	316	92	50	35	21	**514**
0,32	0,32	0,26	0,1	308	78	63	43	22	**514**
0,38	0,29	0,25	0,08	307	96	48	40	23	**514**
0,39	0,3	0,22	0,09	303	88	57	36	30	**514**
0,42	0,26	0,26	0,05	325	82	46	34	26	**513**
0,42	0,29	0,25	0,04	320	87	43	31	32	**513**
0,45	0,25	0,25	0,05	319	94	38	41	21	**513**
0,43	0,22	0,3	0,04	314	91	53	35	20	**513**
0,35	0,3	0,26	0,09	309	86	50	53	15	**513**
0,5	0,15	0,25	0,1	304	84	68	28	29	**513**
0,4	0,27	0,27	0,07	324	84	46	38	20	**512**
0,48	0,24	0,24	0,05	323	86	46	40	17	**512**
0,4	0,28	0,28	0,04	316	94	39	34	29	**512**
0,41	0,24	0,29	0,06	312	95	57	27	21	**512**
0,35	0,3	0,25	0,1	307	91	61	35	18	**512**
0,36	0,29	0,25	0,11	303	88	52	51	18	**512**
0,38	0,33	0,21	0,08	296	89	58	43	26	**512**
0,5	0,22	0,22	0,06	327	79	53	33	19	**511**
0,44	0,25	0,25	0,06	322	93	52	28	16	**511**
0,4	0,3	0,25	0,05	321	90	44	29	27	**511**
0,48	0,19	0,24	0,1	319	82	58	25	27	**511**
0,38	0,27	0,23	0,12	317	84	47	37	26	**511**
0,5	0,19	0,25	0,06	317	78	70	26	20	**511**
0,4	0,24	0,28	0,08	313	87	65	24	22	**511**
0,37	0,26	0,26	0,11	313	82	59	41	16	**511**
0,38	0,33	0,19	0,1	306	77	60	37	31	**511**
0,5	0,13	0,25	0,13	306	77	61	28	39	**511**
0,43	0,3	0,22	0,04	305	98	41	34	33	**511**
0,5	0,13	0,25	0,13	303	80	61	27	40	**511**
0,43	0,17	0,3	0,09	326	76	61	25	22	**510**
0,36	0,28	0,28	0,08	325	78	54	34	19	**510**
0,35	0,26	0,3	0,09	325	82	51	31	21	**510**
0,41	0,29	0,24	0,06	322	87	41	35	25	**510**
0,43	0,26	0,26	0,04	318	97	39	34	22	**510**
0,4	0,25	0,3	0,05	316	90	45	32	27	**510**
0,42	0,25	0,25	0,08	314	95	43	39	19	**510**
0,44	0,22	0,22	0,11	314	80	59	33	24	**510**
0,44	0,22	0,22	0,11	314	80	59	33	24	**510**
0,45	0,2	0,25	0,1	313	90	55	31	21	**510**
0,5	0,14	0,29	0,07	313	95	49	27	26	**510**
0,43	0,24	0,24	0,1	312	82	61	34	21	**510**
0,38	0,31	0,25	0,06	310	101	40	27	32	**510**
0,3	0,3	0,3	0,09	308	80	62	33	27	**510**
0,4	0,32	0,2	0,08	298	89	56	40	27	**510**
0,38	0,25	0,29	0,08	322	84	51	28	24	**509**
0,38	0,23	0,31	0,08	322	81	57	27	22	**509**
0,38	0,25	0,31	0,06	321	85	54	23	26	**509**
0,38	0,23	0,31	0,08	320	84	56	27	22	**509**
0,53	0,16	0,26	0,05	319	82	57	30	21	**509**
0,45	0,23	0,27	0,05	319	93	40	44	13	**509**
0,41	0,27	0,27	0,05	317	93	43	28	28	**509**
0,43	0,22	0,26	0,09	316	82	63	30	18	**509**
0,36	0,32	0,28	0,04	315	88	49	30	27	**509**
0,32	0,32	0,29	0,06	314	89	47	35	24	**509**
0,47	0,18	0,24	0,12	314	78	58	36	23	**509**
0,35	0,29	0,29	0,06	314	84	49	37	25	**509**
0,5	0,17	0,25	0,08	313	74	62	34	26	**509**
0,36	0,32	0,29	0,04	312	95	43	29	30	**509**
0,41	0,23	0,27	0,09	311	85	58	35	20	**509**
0,42	0,25	0,25	0,08	311	96	44	38	20	**509**
0,4	0,25	0,25	0,1	310	84	60	35	20	**509**

Coefficients				Résultats					Total
c	p	m	n	1er	2nd	3eme	4eme	5eme	
0,32	0,32	0,26	0,11	310	73	58	48	20	**509**
0,47	0,16	0,26	0,11	309	90	52	35	23	**509**
0,4	0,2	0,28	0,12	307	86	66	28	22	**509**
0,35	0,3	0,3	0,04	307	90	48	36	28	**509**
0,48	0,14	0,24	0,14	306	68	74	33	28	**509**
0,36	0,36	0,24	0,04	305	80	53	31	40	**509**
0,4	0,3	0,2	0,1	303	87	49	46	24	**509**
0,4	0,3	0,2	0,1	301	90	47	47	24	**509**
0,47	0,26	0,21	0,05	326	80	42	30	30	**508**
0,53	0,21	0,21	0,05	324	72	59	32	21	**508**
0,53	0,18	0,24	0,06	324	74	57	31	22	**508**
0,5	0,17	0,28	0,06	324	89	55	22	18	**508**
0,35	0,27	0,27	0,12	319	80	54	42	13	**508**
0,48	0,14	0,33	0,05	317	90	52	29	20	**508**
0,37	0,33	0,26	0,04	316	82	50	31	29	**508**
0,42	0,17	0,33	0,08	315	99	41	29	24	**508**
0,48	0,24	0,19	0,1	315	85	55	37	16	**508**
0,36	0,32	0,27	0,05	315	89	41	32	31	**508**
0,42	0,17	0,33	0,08	315	98	41	31	23	**508**
0,36	0,28	0,24	0,12	313	86	57	37	15	**508**
0,33	0,29	0,29	0,08	313	86	51	41	17	**508**
0,42	0,25	0,29	0,04	311	100	44	33	20	**508**
0,42	0,16	0,37	0,05	311	92	61	24	20	**508**
0,38	0,25	0,25	0,13	311	92	58	27	20	**508**
0,35	0,31	0,27	0,08	310	88	56	36	18	**508**
0,33	0,3	0,26	0,11	310	80	64	38	16	**508**
0,39	0,22	0,28	0,11	309	84	69	26	20	**508**
0,44	0,17	0,28	0,11	308	90	61	28	21	**508**
0,42	0,17	0,29	0,13	307	91	61	26	23	**508**
0,32	0,32	0,27	0,09	307	89	52	37	23	**508**
0,3	0,3	0,3	0,09	302	86	57	40	23	**508**
0,35	0,27	0,31	0,08	326	77	52	32	20	**507**
0,53	0,13	0,27	0,07	323	77	54	33	20	**507**
0,44	0,19	0,31	0,06	322	91	53	26	15	**507**
0,4	0,28	0,24	0,08	319	85	45	38	20	**507**
0,39	0,26	0,3	0,04	319	94	43	31	20	**507**
0,47	0,2	0,27	0,07	319	75	64	27	22	**507**
0,39	0,28	0,22	0,11	319	79	49	42	18	**507**
0,37	0,32	0,26	0,05	317	90	48	29	23	**507**
0,38	0,25	0,33	0,04	316	93	47	28	23	**507**
0,42	0,21	0,29	0,08	315	86	62	27	17	**507**
0,42	0,25	0,21	0,13	312	76	69	30	20	**507**
0,41	0,18	0,36	0,05	311	89	62	28	17	**507**
0,4	0,35	0,2	0,05	310	83	51	28	35	**507**
0,38	0,25	0,25	0,13	309	94	59	28	17	**507**
0,42	0,21	0,33	0,04	308	91	62	33	13	**507**
0,36	0,29	0,32	0,04	308	101	44	25	29	**507**
0,47	0,12	0,29	0,12	308	80	67	29	23	**507**
0,33	0,33	0,26	0,07	307	87	57	34	22	**507**
0,31	0,31	0,28	0,09	303	82	67	29	26	**507**
0,31	0,31	0,31	0,08	303	90	56	30	28	**507**
0,35	0,24	0,29	0,12	303	91	63	24	26	**507**
0,31	0,31	0,31	0,08	303	90	56	30	28	**507**
0,3	0,3	0,3	0,1	296	82	59	49	21	**507**
0,31	0,31	0,27	0,12	295	90	65	37	20	**507**
0,28	0,34	0,28	0,1	293	81	70	37	26	**507**
0,43	0,29	0,21	0,07	293	100	45	42	27	**507**
0,3	0,33	0,26	0,11	292	89	63	39	24	**507**
0,33	0,33	0,23	0,1	291	86	63	47	20	**507**
0,36	0,32	0,23	0,09	291	98	53	45	20	**507**
0,35	0,35	0,22	0,09	291	93	64	37	22	**507**
0,5	0,25	0,2	0,05	327	78	44	39	18	**506**
0,47	0,18	0,29	0,06	324	92	45	26	19	**506**
0,41	0,18	0,35	0,06	322	83	60	23	18	**506**
0,39	0,28	0,28	0,06	322	90	46	26	22	**506**
0,5	0,2	0,25	0,05	320	92	54	27	13	**506**
0,39	0,17	0,3	0,13	320	72	66	20	28	**506**
0,43	0,24	0,29	0,05	320	94	39	26	27	**506**
0,5	0,21	0,21	0,07	320	80	49	34	23	**506**
0,38	0,19	0,35	0,08	319	89	49	34	15	**506**
0,4	0,2	0,32	0,08	318	87	60	23	18	**506**
0,47	0,21	0,26	0,05	318	85	54	34	15	**506**
0,43	0,19	0,33	0,05	318	92	55	28	13	**506**
0,43	0,21	0,29	0,07	318	86	54	32	16	**506**

Coefficients				Résultats					Total
c	p	m	n	1er	2nd	3eme	4eme	5eme	
0,36	0,21	0,36	0,07	317	90	51	28	20	**506**
0,47	0,13	0,33	0,07	315	87	46	37	21	**506**
0,36	0,21	0,36	0,07	315	97	51	21	22	**506**
0,36	0,25	0,32	0,07	312	92	55	26	21	**506**
0,33	0,33	0,29	0,04	312	90	44	36	24	**506**
0,31	0,31	0,31	0,06	311	85	51	32	27	**506**
0,48	0,14	0,29	0,1	311	81	60	28	26	**506**
0,37	0,3	0,3	0,04	311	99	42	33	21	**506**
0,38	0,21	0,33	0,08	311	97	51	30	17	**506**
0,33	0,29	0,33	0,05	311	103	44	20	28	**506**
0,45	0,15	0,35	0,05	309	88	66	28	15	**506**
0,29	0,29	0,33	0,1	306	84	47	41	28	**506**
0,33	0,3	0,27	0,1	305	82	70	26	23	**506**
0,33	0,29	0,25	0,13	304	90	54	37	21	**506**
0,35	0,31	0,31	0,04	303	96	50	29	28	**506**
0,32	0,32	0,25	0,11	302	81	63	43	17	**506**
0,37	0,32	0,21	0,11	302	82	55	43	24	**506**
0,34	0,31	0,31	0,03	301	91	53	29	32	**506**
0,37	0,33	0,19	0,11	300	74	60	49	23	**506**
0,41	0,29	0,18	0,12	299	93	52	40	22	**506**
0,36	0,32	0,21	0,11	298	84	57	43	24	**506**
0,38	0,35	0,19	0,08	292	88	59	44	23	**506**
0,38	0,31	0,27	0,04	322	86	42	33	22	**505**
0,56	0,11	0,28	0,06	322	83	49	30	21	**505**
0,4	0,2	0,36	0,04	321	85	56	18	25	**505**
0,44	0,22	0,28	0,06	320	88	55	20	22	**505**
0,4	0,2	0,33	0,07	320	89	55	27	14	**505**
0,37	0,19	0,37	0,07	319	90	46	32	18	**505**
0,42	0,21	0,26	0,11	318	88	53	32	14	**505**
0,37	0,26	0,3	0,07	317	80	62	26	20	**505**
0,38	0,19	0,33	0,1	317	94	51	19	24	**505**
0,36	0,23	0,32	0,09	316	99	39	23	28	**505**
0,38	0,23	0,27	0,12	315	81	65	23	21	**505**
0,4	0,2	0,35	0,05	315	95	53	22	20	**505**
0,34	0,28	0,31	0,07	313	86	55	35	16	**505**
0,35	0,26	0,26	0,13	310	79	59	36	21	**505**
0,38	0,24	0,29	0,1	310	86	57	28	24	**505**
0,34	0,28	0,28	0,1	309	77	66	33	20	**505**
0,3	0,3	0,3	0,11	309	72	58	41	25	**505**
0,43	0,35	0,17	0,04	308	81	53	31	32	**505**
0,29	0,29	0,33	0,08	308	81	62	26	28	**505**
0,36	0,23	0,27	0,14	308	82	60	28	27	**505**
0,33	0,33	0,29	0,05	308	95	46	33	23	**505**
0,33	0,33	0,28	0,06	308	91	50	34	22	**505**
0,4	0,28	0,2	0,12	307	79	59	41	19	**505**
0,32	0,29	0,32	0,06	307	98	38	37	25	**505**
0,31	0,31	0,31	0,07	307	88	51	30	29	**505**
0,36	0,32	0,25	0,07	305	97	58	25	20	**505**
0,33	0,3	0,3	0,07	304	98	50	33	20	**505**
0,32	0,27	0,32	0,09	304	87	57	34	23	**505**
0,38	0,31	0,19	0,12	303	82	49	49	22	**505**
0,28	0,32	0,32	0,08	303	79	60	34	29	**505**
0,33	0,27	0,27	0,13	303	85	61	39	17	**505**
0,44	0,31	0,19	0,06	301	92	54	35	23	**505**
0,29	0,32	0,29	0,1	298	76	58	41	32	**505**
0,3	0,3	0,26	0,13	298	90	51	46	20	**505**
0,4	0,33	0,2	0,07	297	94	46	37	31	**505**
0,3	0,3	0,3	0,1	296	80	60	49	20	**505**
0,33	0,24	0,33	0,1	326	81	40	28	29	**504**
0,37	0,22	0,33	0,07	325	83	52	24	20	**504**
0,37	0,3	0,26	0,07	322	86	49	27	20	**504**
0,59	0,12	0,24	0,06	321	91	53	19	20	**504**
0,38	0,29	0,29	0,05	320	88	44	29	23	**504**
0,42	0,21	0,32	0,05	319	88	56	24	17	**504**
0,37	0,26	0,26	0,11	319	78	53	33	21	**504**
0,36	0,25	0,36	0,04	318	90	45	29	22	**504**
0,38	0,25	0,25	0,13	317	81	54	37	15	**504**
0,43	0,29	0,24	0,05	316	91	45	27	25	**504**
0,35	0,25	0,35	0,05	316	87	45	27	29	**504**
0,4	0,16	0,36	0,08	315	87	56	29	17	**504**
0,42	0,17	0,38	0,04	314	94	50	25	21	**504**
0,42	0,21	0,25	0,13	314	88	56	31	15	**504**
0,53	0,2	0,2	0,07	314	83	52	35	20	**504**

Annexe J : Résultats des observations de l'expérimentation 1.

Observation	P1	P2	P3	P4	P5
1	55	60	55	85	55
2	55	80	60	80	60
3	55	85	65	75	50
4	55	85	50	90	77
5	55	85	50	80	78
6	85	100	55	95	79
7	55	85	55	85	72
8	50	90	65	80	79
9	55	100	65	85	77
10	55	80	60	90	75
11	70	90	70	100	76
12	80	100	70	95	80
13	70	86	70	89	76
14	73	95	75	90	70
15	75	98	70	95	73
16	70	70	70	90	73
17	75	94	85	91	79
18	75	91	85	88	70
19	83	95	85	100	80
20	85	95	90	95	95
21	95	94	90	90	95
22	85	90	85	90	80
23	95	80	85	100	90
24	92	90	90	90	85
25	90	95	100	95	95
26	90	95	86	100	80
27	95	95	90	98	80
28	90	90	85	98	95
29	90	100	85	100	96
30	90	95	91	96	97
31	90	95	90	96	100
32	95	90	95	98	95
33	100	80	100	95	100
34	90	95	100	96	98
35	90	100	100	90	85
36	95	100	100	96	98
37	90	90	90	96	95
38	90	93	93	100	97
39	95	90	90	100	100
40	100	84	90	96	100
Taux	**79,45**	**90,125**	**79,625**	**92,45**	**83,375**

Annexe K : Codages utilisés pour les signes du dictionnaire (464 codages / 500 signes)

02-TN-00-01	17-HC-C0-01	01-TN-D1-01	02-HN-C0-01	57-TN-D1-01	02-RN-IT-01	41-TN-IT-02	02-TC-D1-01	41-RN-00-01
22-RN-D1-01	41-HN-UN-02	43-HC-IT-01	03-LC-R1-01	57-RN-IT-01	54-AN-C0-01	06-HC-D2-02	44-TN-SP-02	35-TN-SP-02
12-LC-C0-01	50-HN-UN-02	49-HC-D1-01	06-HC-SP-02	33-HC-D1-01	54-TN-C0-01	49-HN-D2-02	56-RN-IT-01	02-AN-00-02
43-LF-IT-01	41-HC-R1-01	37-TN-C4-02	46-TN-UN-02	12-HC-R1-02	47-HC-IT-02	38-TN-UN-02	11-HN-D1-01	09-AN-00-02
23-TN-00-01	49-HN-D1-01	51-TN-IT-02	38-TN-C0-01	02-HC-IT-01	03-HC-R1-01	43-AN-OD-01	31-HC-00-01	26-HC-SP-02
28-TN-00-01	18-TN-IT-02	48-HC-C0-01	04-HN-IT-02	37-HN-SP-02	49-LN-00-02	38-TN-SP-02	06-TN-C0-02	28-HC-00-02
55-TN-00-02	33-AF-R2-02	30-HC-OD-01	24-HN-C0-01	01-HC-D1-01	48-TN-D2-02	41-TN-R1-01	27-TN-C0-01	41-RF-D1-01
12-TN-SP-02	58-HC-IT-01	55-HC-00-01	36-RN-D1-01	15-HC-00-01	43-RN-OD-02	01-TN-UN-01	06-HC-IT-02	08-TC-D2-02
48-TN-R1-02	37-TN-IT-02	06-HC-D1-01	06-TN-SP-01	48-TN-UN-02	39-RN-IT-01	36-HC-IT-01	02-TN-IT-01	41-TN-OD-02
37-TN-D1-01	33-HC-00-01	03-HN-D1-01	07-HC-D1-01	33-TN-00-02	46-TN-R1-01	49-TN-00-01	17-RC-D1-01	08-HC-C0-01
46-TN-D1-01	17-AN-D2-02	46-HC-UN-02	06-HC-C0-01	44-TN-00-02	05-RN-00-01	41-TN-UN-02	01-TN-UN-02	18-HC-IT-01
02-RN-C0-01	31-RC-D1-01	43-HN-D2-02	36-RN-IT-01	31-TN-IT-01	12-RN-00-01	48-LC-00-01	21-HC-00-01	38-RF-OD-01
08-RN-C0-01	15-HC-C0-01	16-TN-IT-01	18-HC-00-01	50-HC-D1-01	42-HC-00-01	21-HC-D1-01	17-RN-IT-01	46-HC-00-02
23-RN-C0-01	41-TN-C0-02	40-HC-IT-01	18-HN-C4-02	18-RN-IT-01	08-TN-00-02	01-TC-IT-02	02-HN-C0-02	41-AN-R1-01
51-RN-C0-01	38-TN-00-01	02-HC-D1-01	43-TN-SP-02	50-TN-UN-02	49-HN-R1-01	45-TN-D2-02	37-TN-UN-02	52-TN-UN-02
48-RN-C0-01	41-RN-IT-01	17-HC-R1-01	33-TC-C0-01	02-RC-C0-01	02-HN-D1-01	41-HN-C0-01	24-RN-IT-01	55-AC-D2-02
02-HN-R1-01	50-HN-D1-01	01-HC-00-01	38-HN-D1-01	29-TN-UN-02	43-HN-UN-02	31-RN-IT-01	31-RC-UN-02	23-TN-IT-01
08-TN-00-01	41-TN-D2-02	50-HC-00-01	42-HC-D1-01	11-HC-C0-01	43-AN-R1-01	47-TN-C0-01	23-TF-R1-02	06-TF-C4-01
13-TN-00-01	34-HN-IT-02	37-HN-00-01	12-HN-00-01	41-AN-IT-02	03-RN-IT-02	07-HN-R1-01	22-HC-IT-01	43-HN-SP-02
11-HN-C0-01	44-HC-00-01	02-RN-D1-01	07-HN-00-01	34-TN-00-02	43-TN-UN-02	20-HC-D1-01	01-HC-IT-01	31-HC-00-02
08-TN-D1-01	06-HN-R1-01	48-HC-00-02	27-HC-00-01	23-RN-IT-01	18-LC-00-02	01-TC-R1-01	17-TF-D2-02	55-HC-00-02
08-RN-IT-01	35-RN-00-01	49-TC-SP-02	37-HC-00-01	11-TN-D2-02	02-HC-OD-01	42-TN-OD-01	17-TN-SP-02	02-HC-00-02
42-TN-D1-01	24-HC-IT-01	37-TC-D2-02	43-HC-D2-02	38-HN-D2-01	02-TN-D2-01	53-HC-00-01	17-RN-D1-01	41-HN-D2-02
51-TN-00-01	33-HC-C0-01	06-TC-R2-02	07-HC-IT-01	31-RN-UN-02	01-RC-D2-02	11-HC-IT-02	47-RN-D1-01	31-TN-R1-02
39-TN-00-01	26-TN-SP-02	48-TN-00-02	02-TN-R1-01	48-HC-R1-01	23-HC-OD-01	19-HC-C0-01	01-RN-D2-02	01-HN-OD-02
49-TN-C0-01	45-HC-C0-01	03-TN-00-02	04-TN-D1-01	35-TN-00-02	16-RN-R1-01	34-TN-C0-01	27-AN-R1-02	06-TN-C0-01
48-RN-00-01	59-TN-D1-01	01-TN-C0-02	48-AC-D1-01	58-TN-IT-02	41-RC-UN-02	06-HC-IT-01	49-TN-D2-02	43-HC-UN-02
51-RN-IT-01	48-TN-UN-01	20-HN-IT-01	33-RN-IT-01	41-HC-C0-01	48-HC-D1-01	19-TN-00-01	32-TN-00-01	19-TN-R1-01
48-TN-00-01	49-TN-IT-02	48-RN-00-02	41-RN-OD-01	17-TN-UN-02	35-RN-R1-01	18-TN-D1-01	37-RN-00-01	29-RN-R1-02
35-TN-IT-01	41-HC-D1-01	49-TN-UN-02	43-TN-C0-01	31-HC-IT-01	16-HN-R1-02	19-AF-D2-02	37-AN-00-01	17-TN-IT-02
48-RN-IT-01	42-TC-IT-01	37-TN-SP-02	04-TC-R1-02	31-TN-C0-01	41-TC-D2-02	19-HC-IT-01	01-LN-R1-01	02-AN-IT-01
08-AN-IT-02	37-TN-D1-02	42-TN-IT-01	46-HN-00-02	31-TC-D2-02	13-HC-00-01	17-AN-UN-02	38-HC-IT-01	43-HF-IT-01
50-TN-D1-01	01-RN-IT-02	02-TN-UN-02	44-HC-R1-01	41-TN-SP-02	41-HC-D2-02	55-HC-C0-01	47-TC-IT-01	50-LC-00-01
02-TC-R1-02	54-TN-00-01	48-TC-R1-01	44-HC-IT-01	41-TN-SP-01	35-HC-D1-01	01-RN-IT-01	52-TC-D1-01	06-TN-D1-01
35-HC-00-01	14-HC-D1-01	23-HC-00-01	33-HN-00-01	01-LN-00-01	19-HN-00-01	21-TN-UN-02	38-HC-R1-01	55-TC-SP-02
41-TC-C0-01	17-HC-IT-02	35-HN-SP-02	16-HC-R1-01	48-RN-D1-01	18-HN-R1-01	41-RN-D1-01	25-AN-00-02	41-RC-R1-01
31-TN-IT-02	23-AC-D2-02	03-RN-R1-02	08-HC-D1-01	46-TN-C0-01	49-HC-IT-01	24-RN-R1-01	37-TN-IT-01	49-HC-C0-01
06-HC-00-01	03-RC-IT-01	37-RN-IT-01	01-TN-SP-01	41-AC-SP-02	33-RN-IT-02	19-LC-UN-02	06-TN-IT-01	09-RN-00-01
47-TN-C0-02	49-TN-00-02	06-TN-UN-02	48-TC-D2-02	55-TN-D2-02	49-TN-R1-02	19-AN-OD-01	43-AN-SP-02	42-RN-00-01
18-TF-D1-01	31-TN-R1-01	11-RN-00-02	43-TN-D1-01	51-TN-C0-01	14-HC-00-01	55-HC-UN-02	33-RN-00-02	38-AF-IT-02
04-HC-IT-01	01-TN-R1-02	15-RN-00-02	29-HN-00-02	04-RN-R1-02	18-HN-D2-02	41-RC-D2-02	50-TN-SP-02	04-TN-IT-01
23-LC-IT-01	48-LC-R1-01	37-HC-IT-01	46-HC-00-01	06-HC-R1-01	50-HN-C0-02	30-HN-00-01	49-TF-UN-02	01-TN-C0-01
41-HC-R2-02	34-HC-00-01	18-TC-OD-01	16-TN-UN-02	52-HC-00-01	31-HN-IT-01	33-TC-D2-02	41-TC-D1-01	38-HC-D1-01
41-HC-SP-02	12-TN-SP-01	12-HC-D1-01	55-TN-00-01	16-HC-00-02	22-TN-D1-01	49-HN-UN-02	26-TN-SP-01	55-RN-00-02
48-HN-00-01	43-TN-IT-01	07-RN-00-01	41-TC-00-01	17-TN-IT-01	55-HC-IT-01	50-TN-C0-01	52-TN-R1-02	01-RN-C0-01
02-HC-C0-01	46-TN-IT-01	01-TN-00-01	07-HC-00-01	12-HC-C0-01	40-HN-D2-01	19-HC-00-01	04-TN-00-01	16-TN-IT-02
40-TN-UN-02	18-AC-R2-02	04-RN-R1-01	01-AC-IT-01	31-HN-D1-01	12-HN-IT-01	08-TC-SP-02	38-HN-D1-02	38-HN-00-01
33-TN-UN-02	02-TC-IT-01	47-RN-IT-01	06-RC-OD-02	35-TN-D1-01	49-LC-D1-01	18-HN-00-01	49-HC-00-01	41-HN-D2-01
38-TN-00-02	26-HC-IT-01	04-TN-R1-01	43-AN-D1-01	12-HC-IT-01	18-HC-R1-01	10-TN-D1-01	33-AN-R1-01	55-TN-R1-01
11-HC-00-01	31-RC-D1-02	43-RN-OD-01	17-AN-IT-01	33-HC-IT-01	04-AN-D2-02	07-HC-R1-01	17-HC-00-01	38-TN-SP-01
01-TN-R1-01	41-HC-IT-01	36-HN-R1-01	50-TN-IT-01	33-RC-UN-02	48-TC-IT-02	41-AN-SP-02	02-RN-00-01	48-HN-D2-02
13-RN-00-01	38-TF-UN-02	02-TC-C0-01	16-TC-R1-01	42-HC-C0-01				

Annexe L : Codages utilisés dans les expérimentations (2501 codages)

17-TN-R1-02	09-TC-D2-02	06-HC-C0-01	34-TN-UN-02	31-HC-00-01	23-HN-00-01	42-HN-D1-01	44-TN-UN-02	19-RN-00-01
06-HC-IT-01	03-TN-R1-02	41-TF-IT-01	46-TN-UN-01	01-RN-IT-01	38-HC-IT-01	51-HN-IT-01	17-TN-D2-02	31-AN-R1-02
06-LC-C0-01	38-TN-D1-01	48-TC-D2-02	17-TN-IT-02	19-HC-C0-01	06-TN-C4-02	23-TN-IT-01	55-HC-C0-01	36-HN-D1-01
14-RN-IT-01	41-HN-UN-02	55-HN-IT-01	10-TN-SP-02	42-RF-OD-01	01-TN-R2-02	07-HN-R1-01	37-TN-C0-01	54-TF-C0-01
26-TN-D2-02	03-TN-D2-02	31-TN-UN-02	31-HC-00-02	35-TN-OD-02	41-AF-R2-02	49-HN-C0-02	49-HC-D1-01	42-HN-OD-01
02-RN-C0-01	42-RN-IT-01	31-TN-IT-02	16-RN-R1-01	21-TN-D1-02	42-TF-OD-01	31-HN-IT-01	35-TN-C0-02	10-TN-D1-01
41-TN-SP-02	37-HN-D1-02	50-RN-00-01	41-AF-SP-02	42-HN-R2-02	43-AN-SP-02	23-HN-D1-01	08-HN-IT-01	19-HN-R1-01
06-TC-C0-01	14-HC-C0-01	48-AN-SP-01	55-HN-C0-01	49-TN-D1-01	41-TN-IT-01	04-TN-R1-01	43-RN-D1-02	07-HN-IT-01
34-HN-D1-01	18-HN-IT-01	11-RC-00-01	20-LF-C0-02	17-HC-C0-01	34-HN-OD-01	41-HC-D2-01	34-HN-C0-01	03-HF-D1-01
37-HN-D1-01	41-HN-D1-02	08-RC-00-01	48-HF-00-02	33-AF-00-02	51-HC-OD-02	03-TC-D1-01	10-TC-R2-01	45-RN-D1-01
14-AF-00-02	13-AF-00-02	48-TF-D2-02	48-TF-SP-02	01-HC-00-01	48-HC-00-01	33-HN-00-01	05-HN-D1-01	40-TN-SP-02
55-TN-00-01	38-LN-IT-01	52-TN-D1-01	32-RN-00-01	37-RN-00-01	41-LC-IT-01	08-HN-00-02	08-HC-R1-01	22-HC-IT-01
48-TN-R2-01	33-RC-D1-01	38-HN-C4-01	07-RN-OD-01	51-RN-C0-01	48-RC-C0-01	12-HC-UN-01	46-TN-C4-01	36-HC-D1-01
13-RN-C0-01	37-TN-C4-01	38-TN-D2-01	02-AN-C0-01	23-TN-C0-01	23-RN-C0-01	08-RN-C0-01	02-RC-D1-01	48-TN-C0-01
01-TN-D1-01	03-RF-IT-02	49-LF-R1-01	11-TN-D1-02	06-TF-C4-02	12-HC-IT-02	55-AC-OD-02	49-TF-IT-02	34-HC-00-01
33-TF-SP-02	31-RN-IT-01	34-TN-D1-02	48-HN-R2-02	33-HN-IT-01	48-TN-D1-02	33-TN-00-01	39-RN-D1-01	31-TF-R1-02
22-TN-D1-01	54-TF-D2-01	28-HC-D1-02	17-HC-D1-02	02-HN-D2-02	43-HC-R2-02	42-HC-SP-02	08-HF-D2-02	08-AC-D2-01
44-HN-D1-02	50-TF-UN-02	12-TF-C4-02	55-TN-SP-02	59-TN-UN-01	05-AC-R2-02	40-HC-IT-01	13-HC-IT-01	03-HC-IT-02
09-HN-IT-01	17-HC-IT-01	54-HC-IT-01	43-TN-UN-02	55-AN-IT-01	47-AC-SP-02	45-TN-OD-01	05-HC-D1-01	11-TN-UN-02
25-TF-IT-02	41-TC-C0-01	18-TN-OD-02	38-TF-IT-02	54-AN-IT-02	10-HC-D1-02	48-TF-C0-01	36-HC-IT-01	48-LC-R1-01
47-HC-D2-02	30-TN-00-01	01-TN-R1-02	42-TN-IT-01	48-TN-00-02	55-TN-R1-02	16-TN-R1-01	07-TN-SP-01	10-TN-C0-01
48-TN-IT-02	27-HC-00-01	08-TN-D2-02	11-TC-D2-01	01-LF-SP-02	41-HC-OD-01	38-RN-IT-01	08-HN-OD-01	26-TN-R2-02
35-TN-R1-01	48-TF-R2-01	38-TN-R2-02	39-RN-OD-01	17-RN-C0-01	33-RC-IT-01	10-RC-C0-01	46-HN-D1-02	38-RC-C0-01
38-RF-R1-01	10-RN-IT-01	04-RC-R1-01	14-RC-D1-01	40-RC-IT-01	13-RN-D1-01	39-RN-C0-01	04-TN-D2-02	40-TN-R2-02
35-TN-C0-01	50-HN-R1-01	38-AN-IT-01	33-HN-SP-01	04-HN-IT-01	50-HN-C0-01	22-HC-SP-02	38-HN-C0-01	31-HN-C0-01
41-HC-D2-02	46-HC-00-02	17-AN-UN-02	11-HC-00-01	37-TN-UN-01	59-HN-D1-01	44-HN-IT-01	37-TN-SP-01	41-TN-00-01
43-TN-IT-01	54-AN-R1-02	17-HC-IT-02	22-AC-R1-02	37-TC-IT-01	17-HC-R1-01	38-TC-IT-01	37-TC-D2-02	02-TN-UN-02
41-RN-OD-02	41-AN-C0-02	42-HC-IT-01	01-HN-OD-02	23-TN-OD-01	46-TN-SP-02	40-TN-D1-02	08-TN-00-02	36-TN-00-01
46-TN-C0-01	29-RN-OD-02	11-TN-D1-01	38-RC-IT-02	38-LC-00-01	19-RC-R1-02	46-RC-SP-01	37-RC-IT-02	43-RC-R1-02
02-HC-OD-02	38-RN-OD-02	35-TN-R1-02	22-TN-IT-02	28-HN-R1-01	02-TF-IT-02	49-AF-SP-02	34-HN-C0-02	15-HC-C0-01
01-TF-D2-02	58-RF-00-01	06-RN-D1-01	55-HC-UN-02	55-TF-SP-02	45-HN-R1-01	11-LF-D2-02	31-TF-R1-01	38-HF-OD-01
43-AN-C0-02	55-TN-C0-02	50-AN-C0-02	43-TF-SP-02	12-HC-C0-01	49-TN-00-02	11-HN-D1-01	24-HC-C0-01	17-HN-IT-01
02-HN-IT-02	48-RC-IT-01	33-TN-R2-02	01-HC-R1-01	19-TN-OD-02	58-TN-00-01	49-TN-D1-02	42-HN-IT-01	05-TN-R2-02
20-TN-C0-02	31-TN-SP-02	52-TN-00-02	48-HN-R1-01	18-TC-00-02	48-LC-IT-01	09-RN-IT-01	46-TN-IT-01	08-LN-D2-02
43-HC-UN-02	54-TN-SP-02	59-TN-D1-02	59-HF-D1-01	59-TN-D1-01	20-TN-SP-02	24-RN-IT-02	55-TF-D2-02	49-TN-R1-02
12-TC-C0-01	03-TN-00-02	35-HF-OD-01	06-HC-OD-01	02-LN-R1-01	18-TN-C0-02	09-TN-IT-02	58-HC-C0-01	33-RN-IT-02
22-AN-R2-02	07-HN-D1-01	48-LN-00-02	19-TC-UN-02	36-TC-D1-01	52-TC-D1-01	36-HN-C0-01	52-TC-IT-01	52-TC-OD-01
11-HC-D1-01	49-HC-SP-02	49-HN-IT-01	58-HC-R1-01	48-RN-00-02	43-HC-IT-01	42-TN-SP-02	43-LN-D1-01	37-TF-C4-02
19-LN-OD-01	26-HN-00-01	45-AN-D1-01	08-TC-00-01	14-HC-UN-01	38-TC-R1-01	29-TF-IT-02	29-TN-OD-02	31-TC-IT-01
41-LC-00-01	46-TC-IT-01	48-LF-R1-01	07-TN-UN-02	55-LN-D1-01	41-TF-C0-01	29-TN-SP-02	41-RF-OD-01	01-HF-IT-01
21-TF-00-02	16-TC-00-02	44-TN-00-01	27-HN-D1-02	55-HN-D1-02	01-LC-D1-01	01-HF-00-01	30-HF-00-01	43-TF-C0-02
54-LC-R1-01	25-HN-IT-02	41-RN-D1-02	06-HC-C0-02	26-AN-D2-02	02-HC-D1-02	31-HN-IT-02	35-RC-R1-01	50-HC-D1-01
23-TN-D1-01	55-TC-UN-02	17-HN-D1-02	18-AC-UN-02	36-RN-OD-01	05-HN-IT-02	04-TN-D1-02	33-RN-IT-01	14-TN-00-01
36-TN-OD-02	16-LC-IT-02	04-HN-OD-02	04-LN-C0-02	44-RN-IT-01	18-HC-R1-01	19-HN-D1-01	41-RF-OD-02	38-HN-OD-01
46-HC-D1-01	30-HN-00-01	42-AF-OD-01	38-HN-UN-02	04-HN-IT-02	19-AN-OD-01	33-AN-R1-01	55-AC-D2-02	47-RN-IT-01
37-TF-SP-02	28-RN-00-01	17-TN-D1-02	58-HN-00-02	09-TN-R1-02	54-LF-OD-01	31-LF-R1-01	59-LF-C0-01	50-TN-UN-01
06-HC-00-02	13-TN-SP-01	45-RF-00-01	31-AF-00-01	23-LF-00-02	41-HF-R2-02	21-LF-00-01	59-LF-R1-01	39-RC-IT-01
22-HN-IT-02	03-HN-IT-02	22-TN-R1-02	41-HF-C0-01	31-AC-D2-02	58-RN-D1-01	33-HC-UN-02	37-TN-R2-01	49-LC-D1-02
52-LN-C0-01	09-TN-D1-02	12-HC-00-02	34-AN-UN-02	14-HN-D1-02	04-LC-R1-01	21-TN-R1-02	39-HC-IT-01	54-TN-C0-02
47-RN-C0-01	06-RC-OD-02	44-HC-R1-01	33-HC-C0-01	01-AC-IT-01	37-HN-C4-02	31-TC-SP-02	12-TC-SP-02	46-HN-D1-01
04-TC-IT-01	47-TC-IT-01	41-AC-SP-01	55-TC-SP-01	49-RN-00-01	40-TC-IT-01	13-TN-D1-02	53-LF-C0-01	35-AN-IT-01
55-LN-C0-01	11-TN-D2-01	28-HN-00-01	06-TN-00-01	45-HC-OD-02	43-HN-IT-01	01-RN-D2-02	49-LN-00-02	37-AN-00-01
30-AF-OD-01	12-RF-D2-01	37-RC-00-01	32-RF-OD-01	55-AC-00-01	54-RF-R1-01	09-AC-D1-01	55-AN-R1-01	30-RF-OD-01
50-LN-IT-01	50-RN-R1-02	23-AC-D2-02	33-AN-IT-01	04-TN-00-01	26-LC-D1-01	33-LN-IT-01	43-TF-D1-01	14-TN-D1-01
42-TN-00-02	02-LC-R2-01	49-TF-UN-02	03-HC-D1-01	33-TC-D2-02	49-TC-SP-02	02-HN-C0-02	22-HN-D2-01	55-RN-IT-01
43-HN-SP-01	04-RN-00-02	41-AF-D2-02	31-HC-R1-01	27-HC-D1-01	43-RF-D1-01	41-RC-OD-01	08-AN-R1-02	43-RN-R2-01

18-RN-D1-01	44-RF-OD-01	19-HC-IT-01	54-TN-D1-01	16-HC-OD-01	37-TN-D1-02	02-TN-D1-01	17-TF-D2-02	07-HC-D1-01
02-HC-C0-01	41-HN-IT-01	31-AN-R1-01	18-HC-IT-01	48-TN-D2-02	41-HC-C0-01	52-TN-UN-02	13-HC-00-01	01-HC-D1-01
06-TN-SP-02	23-TN-00-01	47-TN-D1-01	18-TN-C0-01	09-TN-R1-01	04-RN-R1-01	42-HN-C0-01	51-TN-R1-01	06-HN-D1-01
11-HC-OD-01	03-HN-R1-01	19-TN-D1-01	18-RF-D1-01	06-HN-IT-01	08-AN-C0-01	47-HC-C0-01	02-HN-D1-01	55-HC-IT-01
51-TC-UN-02	35-TN-IT-01	15-TC-IT-01	03-TN-C0-01	49-TN-C4-02	51-AN-D2-02	33-HN-D1-01	15-TN-R1-01	48-HN-R2-01
21-TN-D2-02	09-TN-C0-01	55-TN-D2-02	17-TN-R1-01	48-TF-R2-02	35-HN-R1-01	37-RN-IT-01	38-RF-C0-01	38-HC-D1-01
14-HN-00-01	46-HN-00-01	01-TN-UN-02	46-HN-IT-01	41-TN-SP-01	08-TN-IT-02	08-RF-00-01	35-HN-OD-02	23-HC-IT-01
31-TN-R2-01	08-AN-IT-02	17-HC-00-01	18-AN-R2-01	35-TN-UN-01	50-HC-IT-01	02-HC-OD-01	11-TF-00-01	43-HN-D2-02
48-HN-D2-02	05-TN-C0-02	35-TN-00-01	08-RF-SP-02	48-HC-D2-01	35-HN-00-01	48-HF-R1-01	48-RF-IT-01	44-RC-IT-02
08-HN-D1-01	44-HN-SP-01	18-HN-C0-01	02-RC-C0-01	48-TC-C0-01	14-HN-SP-02	49-HN-00-01	11-HN-00-01	11-HN-UN-01
16-TN-00-02	46-HC-D2-02	03-HC-00-02	38-TN-SP-02	45-HC-IT-01	07-HC-R1-01	48-HN-00-01	55-HN-00-01	47-LC-00-01
43-TN-OD-01	04-RN-D1-01	15-HN-SP-01	31-TC-UN-02	35-TN-00-02	18-TN-D1-01	17-LN-IT-01	18-HN-D1-01	09-HN-00-01
55-AN-D2-01	50-TN-D1-01	11-RN-00-02	15-RN-00-01	02-TN-C4-01	48-TF-D2-01	34-RN-IT-01	02-RN-IT-01	48-TN-UN-01
43-RC-D1-01	48-HN-D2-01	36-RC-C0-01	51-TN-C0-01	34-RN-OD-01	37-RC-C0-01	41-TN-UN-01	41-TN-R2-01	37-RN-D1-01
43-HN-D1-02	02-TN-00-02	31-RN-R1-02	01-RN-D1-02	40-HN-IT-01	41-HC-OD-02	10-TN-IT-02	54-RN-D1-01	34-HC-IT-01
03-TF-R2-01	37-HN-R1-01	04-HC-D1-02	15-TC-C0-02	42-TC-C0-02	47-AF-SP-02	11-AN-D1-02	10-HC-D1-01	38-HN-D2-02
17-TC-IT-01	48-RN-D2-02	34-HN-R2-02	44-HN-R2-02	48-HN-C0-01	45-HN-OD-01	35-HF-D1-01	19-HF-D1-01	46-TN-D1-02
50-HC-IT-02	24-TN-IT-01	33-TN-UN-02	02-TN-D2-02	46-HC-C0-01	37-TN-IT-01	14-TF-00-01	13-TF-00-01	08-RN-D2-01
45-HN-00-01	17-TC-IT-02	44-TN-SP-02	06-TN-R2-02	23-TN-D1-02	49-HC-D1-02	03-HC-D2-02	42-TN-D1-02	08-TF-IT-01
24-HN-SP-02	41-HN-D2-02	39-TN-D1-02	42-TN-OD-01	47-TN-R1-01	13-TF-R1-01	17-HN-D2-01	17-AF-D2-01	47-TF-SP-02
23-TN-UN-01	33-TN-IT-02	06-TN-C0-01	46-TN-OD-02	11-TN-00-02	41-RN-C0-02	47-TN-C0-02	43-AN-UN-02	04-RN-00-01
28-TN-R2-01	36-RC-D1-01	04-RC-D1-01	41-RC-D1-01	21-HC-00-01	02-RC-OD-01	05-TN-R1-01	18-RC-C0-01	44-RC-D1-01
14-RN-D1-01	36-TN-SP-02	12-RC-C0-01	32-RN-D1-01	22-RN-D1-01	55-TN-R2-01	48-TN-OD-01	38-HF-R1-02	17-AN-D1-02
10-RC-IT-01	17-HC-SP-02	17-TF-SP-01	05-TF-C0-01	18-TC-D1-01	35-TC-SP-02	41-RN-00-01	02-RN-00-01	37-AC-SP-02
44-HC-D2-02	38-HC-00-01	25-AN-00-02	19-LC-00-02	41-RN-R1-01	11-AN-00-02	17-TN-C0-01	55-AC-IT-02	06-HC-SP-02
36-HC-00-02	01-RN-00-02	49-HN-00-02	37-TN-00-02	05-TC-R1-02	36-HC-00-01	55-AN-00-02	10-TF-C4-02	10-HC-R1-01
48-TC-R1-01	16-TN-R1-02	01-AN-IT-02	43-RN-R1-02	01-LC-R1-01	18-TN-C4-02	24-HC-R1-01	38-HN-D1-01	07-TN-C0-01
49-TN-IT-01	48-LN-OD-01	01-TN-00-02	55-TN-UN-02	01-TC-R1-01	19-TN-R1-01	19-AN-D2-02	19-TC-00-02	02-LN-D1-01
08-RC-IT-02	46-RC-R1-01	27-RC-C0-01	01-AN-C0-02	16-HC-R1-01	41-TN-OD-01	48-AN-SP-02	09-TN-UN-01	03-TN-R1-01
34-AF-OD-01	17-TF-IT-02	33-HN-C0-02	24-HN-00-01	11-HF-D1-01	27-HN-R1-01	24-AF-R1-02	25-HN-IT-01	09-RN-00-01
43-RN-SP-02	16-TN-SP-02	03-TN-UN-01	41-RN-UN-02	29-HN-D2-02	22-TN-IT-01	04-TC-R1-02	03-HF-OD-02	41-AN-OD-01
36-RF-D1-01	13-TN-UN-02	01-LN-IT-02	36-RN-R1-01	04-TN-C0-02	41-RN-C0-01	05-AN-R1-02	52-TN-IT-01	43-AN-IT-01
38-TN-IT-02	54-RN-IT-02	31-AN-D2-02	03-RC-IT-01	01-RN-R1-02	54-TN-C0-01	02-TC-IT-01	49-AN-00-02	24-AN-UN-02
26-TN-D1-02	02-HN-IT-01	49-TN-IT-02	08-HC-IT-02	41-AF-OD-01	15-TN-IT-01	04-TN-UN-02	16-TN-C0-02	58-HC-D1-01
42-HF-D1-01	42-TC-IT-01	26-HF-D1-01	17-RN-IT-02	34-HN-IT-02	06-HN-C0-01	49-AN-D1-02	33-AF-R2-02	48-HF-IT-02
16-HN-00-01	18-TN-D1-02	54-TN-00-02	14-HN-D1-01	22-AC-00-02	01-RC-IT-01	08-AN-D2-02	29-TN-IT-02	49-HN-D1-01
05-TN-IT-02	40-HC-D1-01	03-LC-R1-01	04-RN-C0-01	56-HN-D1-01	04-RN-D2-02	07-TN-00-01	46-TC-UN-02	24-RN-R1-02
52-AF-D2-02	48-TN-R1-01	41-TC-R2-01	25-RF-IT-02	39-HN-SP-02	45-TN-IT-02	45-RF-D1-01	04-RF-R1-01	56-HC-D1-01
01-HN-D2-02	41-RN-IT-02	34-RN-00-02	58-TC-IT-01	48-HC-R1-01	49-TC-00-02	17-AC-IT-02	52-HC-UN-02	31-HC-C0-01
42-TN-C0-02	28-TF-IT-01	45-TC-OD-02	06-AF-00-01	15-HN-00-01	49-RN-R1-01	39-TN-00-02	43-TF-00-02	24-LC-00-02
19-LN-D1-01	38-RN-OD-01	38-HN-00-02	43-TC-C0-01	38-TN-C0-02	33-AN-D1-02	37-LN-IT-02	17-RC-IT-01	31-RC-R2-02
43-HN-R1-01	48-AC-D1-02	02-HN-R2-01	41-RC-R1-01	27-HC-C0-01	24-RN-D1-01	01-LN-00-01	01-RN-R2-01	17-HC-D1-01
19-TN-IT-02	08-TC-00-02	27-TN-C4-02	17-TC-R1-02	19-TC-OD-02	48-AN-00-02	02-HC-R1-01	03-RC-R1-02	24-TC-OD-02
42-TN-OD-02	58-HC-C0-02	18-LN-C0-01	46-HC-IT-02	24-HN-D2-02	41-HN-C0-01	16-HN-UN-02	20-HN-IT-01	03-TN-SP-02
18-TC-OD-02	36-HC-C0-01	04-AN-D2-02	49-TC-00-01	03-RN-R1-02	24-TN-IT-02	06-TC-R1-02	41-RN-IT-01	38-TC-OD-02
42-HC-D1-01	53-LF-00-01	23-LF-00-01	16-RF-SP-01	41-LN-D1-02	35-TC-00-01	42-AF-SP-02	42-HC-IT-02	23-TF-SP-02
53-LF-00-02	21-AN-IT-01	31-RF-D1-01	48-RC-R1-01	42-HN-R1-01	50-HN-IT-02	37-TC-OD-02	23-AN-IT-02	45-LN-D1-01
49-HN-IT-02	01-HN-00-02	04-TC-R2-02	48-LC-R1-02	52-LF-OD-02	58-TF-00-02	09-AF-IT-01	28-HC-D2-02	38-TF-D1-01
36-TN-IT-02	51-HN-D1-02	50-HN-D1-01	05-HC-R1-02	05-HC-C0-01	35-HN-00-02	50-TN-C0-02	38-LN-00-02	21-HC-IT-01
26-HN-IT-01	12-HC-00-01	01-RN-IT-02	41-TC-IT-02	48-RN-SP-02	01-LN-R1-01	41-LN-IT-01	33-HN-R1-01	54-LN-00-01
36-LF-OD-01	36-TC-IT-01	12-AN-R1-01	08-AN-IT-01	18-TC-OD-01	49-TC-SP-01	38-LF-C0-01	35-TF-OD-01	36-LF-R1-01
11-LC-00-01	04-AN-IT-01	45-TN-IT-01	35-RC-IT-02	42-AN-R1-01	29-TN-R1-01	29-TN-IT-01	46-TF-D1-01	44-AN-SP-02
29-RF-C0-01	23-AC-C0-01	31-AN-00-01	21-AF-OD-01	35-AN-00-02	12-HC-C0-02	58-TN-SP-01	11-TN-UN-01	15-HC-D1-01
47-AC-IT-02	28-TN-IT-02	19-TN-C0-01	28-TC-IT-01	44-TN-00-02	33-TF-R2-02	11-TN-R1-02	15-TN-C0-02	56-AC-IT-02
41-AN-00-02	41-TC-D1-02	24-HC-UN-01	21-HN-D1-01	37-TN-R1-01	41-TF-D2-01	40-HN-D1-01	17-TF-D1-02	58-TC-UN-01
54-HC-D1-01	29-RC-D2-02	45-TN-C0-02	33-TC-00-02	16-RC-00-02	33-TC-R1-01	43-TN-R1-01	06-TN-D2-02	09-AN-C0-01

38-HN-R1-01	04-TN-IT-02	26-HC-IT-02	37-TN-IT-02	18-HC-D1-01	44-TN-OD-01	01-TN-R1-01	48-TN-00-01	23-HC-00-01
36-HN-R1-01	06-AN-00-01	24-AN-IT-02	16-TN-IT-01	49-TN-SP-02	31-TN-R1-02	19-HN-C0-01	43-RN-D1-01	51-TF-D1-01
12-TN-IT-01	17-HN-D1-01	38-RF-D1-01	43-TN-D1-01	41-HC-IT-01	19-RN-D1-01	39-TF-R2-02	24-RN-C0-01	48-RF-OD-01
07-RN-IT-01	37-TN-SP-02	41-RF-IT-01	14-HN-IT-01	12-HN-IT-01	38-RF-OD-01	02-TN-IT-01	55-TN-C0-01	21-TN-SP-02
43-AN-R1-01	34-TN-SP-02	21-HC-R1-01	43-HN-UN-02	27-AC-UN-02	04-TN-00-02	55-HN-SP-01	35-HN-SP-01	33-TN-D2-02
37-HN-SP-02	43-HC-00-02	29-TN-D1-02	43-AN-D1-01	12-TN-C0-01	43-RC-C0-01	48-HC-D1-01	41-RC-C0-01	02-HC-D1-01
47-TN-IT-01	48-TN-SP-01	38-HN-00-01	41-HN-R2-01	10-HN-R2-01	31-HN-D1-01	08-HC-IT-01	41-HN-SP-02	38-TN-IT-01
31-TN-IT-01	48-LN-R1-02	37-HN-IT-01	16-HN-R1-01	43-TN-C0-02	43-RF-OD-01	33-TN-R1-02	50-TN-IT-02	46-TN-IT-02
34-HN-00-01	49-TN-OD-02	49-HC-OD-01	54-AF-00-02	42-RN-00-01	41-RC-00-01	18-TN-OD-01	43-TN-00-01	48-HN-D1-01
57-RF-00-01	34-LC-OD-02	41-TC-SP-02	17-TC-D1-01	01-HC-IT-01	41-RF-D2-02	37-RN-R1-01	25-HN-00-01	14-HC-00-01
38-HC-R1-01	41-TN-C0-01	38-HC-00-02	51-TN-D1-01	06-TN-IT-01	51-HN-00-01	39-HN-IT-01	01-TN-D2-02	33-AF-R2-01
06-HN-R1-01	57-HN-00-01	38-HN-OD-02	06-TF-C4-01	23-RN-IT-01	10-HC-00-01	41-TF-00-02	41-TN-IT-02	47-HN-IT-01
34-TN-SP-01	39-HC-C0-01	38-HC-OD-01	34-HC-OD-01	40-TN-UN-01	49-HN-R1-01	21-TN-IT-01	41-TN-D2-01	46-HC-C4-01
41-RN-D1-01	37-RN-C0-01	31-RC-IT-01	46-RC-OD-01	12-TN-SP-01	06-RC-C0-01	12-RN-D1-01	10-RN-D1-01	08-TN-C4-02
42-TN-D1-01	41-RF-D1-01	26-TN-IT-02	38-TN-R1-02	53-HN-D1-01	42-RN-D1-01	16-HF-R1-01	41-TN-D1-02	38-RN-C0-01
18-RN-OD-01	49-RC-R1-01	35-HC-D1-01	35-TN-D1-01	48-TF-SP-01	34-HC-D1-01	35-HC-00-01	48-HC-IT-01	59-HC-IT-01
07-RC-C0-01	41-HC-SP-02	02-HC-IT-01	50-TN-IT-01	35-LN-D1-01	48-AF-00-01	42-TN-UN-02	04-TN-IT-01	34-TF-SP-02
40-TN-R1-02	53-HF-D1-01	39-TN-IT-02	48-TC-D1-02	04-AF-C0-02	02-TC-R1-02	41-TC-SP-01	06-LF-C0-01	43-HC-D1-01
12-HC-IT-01	43-HC-C0-01	01-HC-C0-01	32-LN-00-01	37-LN-00-01	48-TC-IT-02	43-TC-OD-02	06-TN-R1-01	31-AC-D2-01
34-TC-SP-01	12-AN-D2-02	12-HC-D2-01	12-AF-D1-01	11-AN-R1-01	11-TC-R2-01	47-AN-OD-02	47-HC-SP-02	12-AC-R1-01
46-RN-D1-02	40-RN-C0-01	35-HN-D1-01	07-HC-00-01	13-RN-IT-01	17-RN-OD-01	49-RF-D1-01	09-RC-D1-01	14-TN-SP-01
10-RC-D1-01	41-HN-UN-01	33-RN-OD-01	44-RN-R1-01	33-RN-R2-01	47-TN-IT-02	01-HN-IT-01	34-TN-R2-02	48-RF-D1-01
32-TN-D1-01	06-RF-00-01	54-HC-00-01	45-RN-00-01	48-RF-C0-01	08-RN-R1-01	37-RC-D1-01	43-HC-R2-01	42-TF-SP-01
41-LC-00-02	48-RC-D1-01	03-LC-00-02	42-RC-C0-02	06-RC-R2-02	52-RC-00-02	21-TC-D1-02	54-TN-R1-01	43-LC-00-01
49-HN-D1-02	07-HN-00-01	26-TN-SP-02	01-RN-UN-02	48-TN-UN-02	17-TN-UN-02	26-AC-D2-02	17-HN-IT-02	59-HC-00-01
04-AN-R1-01	42-TC-00-01	43-TN-00-02	45-HC-00-02	39-TN-00-01	19-TN-00-01	02-AN-00-01	43-HN-OD-01	50-AN-IT-02
48-AC-D1-01	41-AN-C0-01	46-HN-00-02	02-HN-00-02	03-AN-C0-02	47-TN-D1-02	01-TN-00-01	41-TC-D2-02	31-TN-C0-02
01-LC-00-01	59-TC-D1-01	43-RC-IT-02	45-AN-C0-02	33-RN-00-01	08-TC-SP-02	56-RN-IT-01	58-RN-IT-01	47-RN-00-01
10-TN-OD-01	05-HF-00-01	09-TN-IT-01	16-HC-00-01	10-HN-D1-01	21-TN-00-02	57-TN-R1-01	07-RN-00-01	55-TC-SP-02
58-HC-IT-01	44-HN-D1-01	49-TC-IT-01	47-HC-00-02	47-TN-C0-01	46-HN-C0-01	45-HC-D1-01	45-HC-C0-01	20-HC-D1-01
01-TN-OD-02	04-TN-C0-01	41-TF-R1-01	43-TF-IT-01	01-HF-D1-01	33-TC-D1-01	13-RN-00-01	10-HN-IT-01	18-LC-00-02
50-TN-C0-01	03-TN-IT-02	05-RN-R1-01	55-TN-D1-02	48-HC-00-02	40-HN-D1-02	43-AC-IT-02	59-HN-C0-01	01-RC-R1-02
43-RN-R1-01	03-RN-IT-02	41-HN-OD-02	42-TN-R1-02	41-TF-C0-02	39-TN-IT-01	48-TN-OD-02	12-HN-D1-01	34-TN-00-02
26-HC-D1-01	01-TN-C0-01	16-HC-IT-01	16-HC-R2-01	41-TN-R1-01	01-TN-C0-02	41-HN-D1-01	03-TN-UN-02	48-TC-C0-02
46-TN-R1-02	34-TF-IT-02	17-AC-UN-02	01-RF-C0-02	25-HC-00-01	18-HN-OD-01	33-TC-R2-02	43-TC-D1-01	48-LN-00-01
52-TN-D1-02	03-LN-R1-02	38-HN-IT-02	08-HC-D2-02	06-TN-OD-01	41-LN-C0-01	48-RN-OD-01	03-HN-D2-02	16-TN-D1-02
26-HN-D1-01	34-TN-R1-02	09-TN-00-02	35-TC-D1-01	42-HC-00-01	09-HC-00-01	08-HC-R2-02	42-HN-D2-02	45-RN-IT-02
38-TF-SP-02	43-AN-R1-02	05-TN-R1-02	55-RN-IT-02	48-RN-R2-02	55-RF-00-02	33-TC-C0-02	46-HN-D2-02	08-AC-IT-02
05-RN-IT-01	17-HF-D1-01	49-LC-D1-01	49-AN-D2-02	51-AN-C0-01	41-RN-OD-01	58-AN-D1-01	58-HN-D1-01	48-AN-D1-02
41-RN-SP-02	03-TN-D1-01	16-HN-IT-02	48-HN-OD-02	35-HC-R1-01	48-RN-IT-02	08-HF-IT-01	24-HN-R1-01	41-HF-SP-02
55-TF-00-01	49-HF-00-02	48-TC-IT-01	01-TF-IT-02	04-HN-D1-01	32-TF-00-01	37-TF-00-01	35-TF-UN-02	15-TF-D1-01
31-HC-UN-01	45-RF-OD-01	16-HN-R2-01	16-RN-IT-01	45-TN-D1-02	35-RC-OD-01	45-RN-IT-01	22-RN-IT-01	24-TN-C0-02
13-TN-R1-01	25-HC-00-02	17-RN-R1-01	23-TN-R1-02	21-HN-R1-01	02-HC-D2-02	17-RC-C0-01	34-HN-UN-02	48-AC-SP-02
49-HN-UN-02	06-HC-IT-02	25-RN-D1-01	02-LN-D1-02	15-HC-00-02	31-HN-OD-01	48-RN-R1-01	11-TN-D2-02	46-RN-IT-02
31-RN-D1-02	25-TN-R1-02	24-HC-IT-01	05-TN-IT-01	29-TN-D1-01	15-HC-SP-02	17-HC-00-02	42-RC-R2-01	41-HN-R1-01
06-TN-C4-01	15-RN-00-02	39-TN-SP-02	46-AF-00-02	05-LF-00-02	36-TN-D1-02	36-HN-00-02	25-AN-UN-02	03-TN-R2-02
02-RF-00-01	23-RF-R1-01	06-TF-UN-01	48-LN-OD-02	29-TC-IT-02	54-AN-C0-01	08-TC-C0-02	53-RF-C0-01	08-TF-00-02
43-HN-SP-02	32-LF-OD-01	52-AF-R1-01	14-RN-00-01	31-AF-C0-01	55-RF-R1-01	43-TF-IT-02	39-RF-OD-02	53-RC-IT-01
12-TN-IT-02	42-HC-C0-02	04-HC-R2-01	48-HC-D1-02	40-HC-IT-02	48-TC-R2-01	27-HC-IT-01	02-TC-R2-02	39-RN-00-01
37-RN-UN-02	18-HN-C4-02	41-AN-IT-01	02-AN-IT-01	24-HN-D1-01	06-HC-SP-01	46-TN-D2-01	23-TF-R1-01	47-RN-D1-01
13-TC-00-01	33-LC-00-01	21-LF-C0-01	53-LF-UN-01	02-HC-D2-01	29-AN-C4-01	20-LN-IT-01	29-TC-D1-01	59-HN-D2-01
50-TN-SP-01	36-HC-IT-02	08-TN-OD-02	44-TN-D1-01	35-TC-D1-02	52-RF-C4-01	52-RF-OD-01	35-AN-D1-01	03-RN-C0-01
32-RF-R1-01	57-LF-R1-01	53-LF-R1-01	32-RN-C0-01	29-AN-C0-01	52-RN-IT-01	23-TC-D1-01	29-RN-OD-01	03-TN-IT-01
15-HC-IT-01	45-TN-D1-01	06-TC-D1-01	31-HN-D1-02	41-AC-SP-02	31-HC-R2-02	23-HN-IT-01	42-TN-R2-02	04-HN-R1-01
54-LN-C0-01	19-AN-D2-01	38-AN-D1-01	43-AC-00-02	55-AN-C0-02	46-HC-R1-01	18-RC-00-02	01-LN-D2-02	37-TC-C0-01
58-LN-C0-01	48-RN-C0-02	01-TN-SP-01	52-RN-R1-02	42-HC-D2-02	15-TN-D1-01	09-LC-R1-01	33-TF-D1-01	

40-TN-UN-02	42-TN-00-01	41-TN-D2-02	37-TN-R1-02	08-TN-D1-01	42-TN-R1-01	29-TN-R1-02	08-HN-R1-01	41-HC-D1-01
49-HC-R1-01	11-HN-C0-01	06-HC-D1-01	49-TN-UN-02	51-HN-D1-01	02-TC-D1-01	42-HC-C0-01	02-TN-R1-02	33-RC-IT-02
08-HC-D1-01	38-TN-D2-02	08-RN-IT-01	37-HC-D1-01	47-TF-C0-01	12-TN-D1-01	17-HN-C0-01	37-HC-IT-01	31-TN-R2-02
28-TN-SP-02	44-HC-IT-01	46-RN-D1-01	07-HC-OD-01	08-TN-C0-01	07-HC-D2-02	48-TC-UN-02	07-HN-D2-02	11-HN-OD-01
41-TN-00-02	55-HN-R1-01	17-HF-R1-01	02-HN-R1-01	54-HN-C0-01	08-TN-IT-01	54-HF-IT-02	02-TN-00-01	43-LN-IT-01
31-RN-OD-01	27-RN-IT-01	24-TN-C0-01	44-HN-C0-01	50-AN-00-01	40-TN-D1-01	09-TN-D1-01	50-TN-00-02	02-TN-D1-02
31-TN-00-01	18-TN-IT-01	48-TN-IT-01	38-TF-SP-01	36-HN-IT-01	36-HN-00-01	19-HN-00-01	18-TN-00-01	41-TC-D1-01
06-HC-00-01	11-HN-D2-02	29-TN-UN-02	47-TN-UN-02	08-TC-D2-02	08-HC-C0-01	18-HC-C0-01	16-LC-IT-01	16-TC-R1-01
55-RF-UN-01	17-LN-UN-02	43-TN-UN-01	50-TC-IT-01	40-TF-C4-02	03-HN-D1-01	30-HN-D1-01	23-RF-IT-02	42-HN-00-01
43-RC-OD-02	48-TC-00-01	55-TF-C0-01	31-RN-00-01	18-RN-00-01	38-TN-C0-01	41-HC-00-01	34-RC-D1-01	01-RC-D1-01
01-HN-00-01	53-TN-00-01	08-HN-00-01	46-TN-00-01	40-TF-SP-02	50-AF-D2-02	31-AN-SP-02	08-TN-00-01	13-TN-00-01
44-HC-00-01	13-HN-00-01	18-HC-00-01	27-TN-SP-02	13-TN-SP-02	50-HC-00-01	17-TN-SP-01	41-TC-00-01	38-TN-00-01
49-TN-R1-01	38-TN-R1-01	07-HC-C0-01	54-TN-IT-01	33-TN-C0-01	45-HC-OD-01	51-TN-IT-01	48-RN-IT-01	55-HC-OD-01
33-TN-D2-01	49-HF-R2-02	19-RN-R1-01	16-LC-SP-02	16-RC-SP-02	44-TF-SP-01	24-TF-D1-01	09-HC-C0-01	33-RN-R1-01
48-TN-R1-02	54-TN-D1-02	17-HN-R1-01	09-RN-D1-01	34-TN-D1-01	02-HC-00-01	48-HF-C0-01	28-HC-UN-02	23-TN-SP-01
33-TN-SP-02	08-HC-00-02	34-TN-D2-02	44-TN-D2-01	46-HC-UN-01	31-HC-OD-01	43-HC-R1-01	48-HC-IT-02	53-RN-C0-01
43-TF-OD-01	36-HC-D1-02	46-TN-R2-02	52-TC-00-01	44-HN-R1-02	23-TN-SP-02	33-TF-00-02	55-AN-D2-02	23-HN-SP-02
22-HN-D1-01	43-TN-OD-02	28-HN-SP-02	05-HN-00-01	41-HC-R2-02	05-TF-R2-02	24-RF-IT-01	25-TN-C4-01	40-TC-C4-01
33-TN-00-02	06-TN-C0-02	31-TN-R1-01	59-TC-IT-01	41-TN-R1-02	13-HC-C4-01	48-AN-IT-01	33-TN-D1-02	26-TN-SP-01
14-HC-C4-02	21-AN-D1-01	23-HC-D2-01	33-HC-UN-01	17-HC-UN-02	41-AC-D2-02	41-HC-UN-02	56-TC-OD-01	25-HC-IT-01
49-RC-OD-01	55-RC-R1-01	40-RN-IT-01	41-RC-IT-01	38-TN-R2-01	07-RC-D1-01	55-RC-OD-01	13-HN-D1-01	13-AF-IT-02
41-HC-C0-02	59-RC-D1-01	54-AN-R2-02	17-HF-SP-01	42-RN-OD-01	53-RC-R1-01	48-RN-D1-01	35-RN-D1-01	18-RN-C0-01
11-AN-UN-02	27-RF-D1-01	13-TN-D1-01	49-RC-C0-01	44-TN-D2-02	46-HC-UN-02	16-TN-UN-02	49-RN-C0-01	07-RN-D1-01
37-HN-00-01	50-AN-00-02	02-TC-00-01	46-LN-00-01	48-RN-C0-01	34-RN-C0-01	02-RN-R1-02	12-HC-C4-01	13-RN-OD-02
37-HC-00-01	49-HC-00-01	48-RN-00-01	55-RN-00-01	37-TN-00-01	23-RN-00-01	50-TN-00-01	08-RN-00-01	48-HN-00-02
43-TC-UN-02	06-LC-D1-01	15-TN-00-01	36-TN-R1-01	32-TN-00-01	45-TC-D2-02	01-LC-IT-01	15-AN-00-01	28-TN-00-01
29-HN-R1-02	03-AN-IT-02	06-HN-D2-02	57-TN-D1-01	08-HC-R1-02	48-HN-UN-02	41-HN-IT-02	31-RN-C0-01	46-TN-C0-02
02-HC-00-02	23-AN-R1-02	49-HN-D2-02	17-TN-SP-02	01-TN-IT-02	17-RN-D1-01	03-TN-00-01	31-HN-R1-01	48-LN-R1-01
10-HN-C0-01	10-TN-UN-01	01-AN-R1-02	16-RC-R1-02	02-RC-IT-01	03-RC-OD-01	49-RC-D1-01	37-RC-C4-01	48-RC-R2-02
27-RN-R1-02	26-HC-IT-01	35-HN-IT-01	01-HN-IT-02	06-TN-UN-02	52-TN-R1-02	02-LC-R1-01	08-TN-SP-02	52-RN-00-01
06-HC-D2-02	45-LC-00-02	48-TF-00-01	16-HN-IT-01	41-HF-UN-02	02-HF-D2-02	58-TN-IT-02	50-TN-UN-02	19-HN-IT-01
48-TF-R1-02	49-TN-C0-02	06-TC-SP-02	43-TN-IT-02	06-TN-R1-02	48-TN-R2-02	48-HN-IT-02	01-AF-IT-02	43-RF-D1-02
52-RN-IT-02	16-HC-IT-02	33-TF-IT-02	49-TN-C0-01	04-LN-R1-02	51-TN-D1-02	51-RN-00-01	43-AN-D1-02	35-HF-IT-01
57-RN-D1-01	43-AF-SP-02	19-TN-D1-02	36-RN-IT-01	45-LN-C0-01	17-AN-R2-02	19-RC-00-02	03-TN-D1-02	45-TN-00-02
12-TN-UN-02	31-TN-D2-02	08-TN-R1-02	02-HN-OD-01	51-RN-IT-01	08-HN-C0-01	51-TN-00-01	38-RN-D1-01	48-TC-R1-02
55-HC-D1-01	22-TN-D1-02	16-HC-D1-01	18-HN-D2-02	26-TN-C0-01	02-RN-D2-02	48-TN-C0-02	55-HC-D1-02	01-TC-00-01
38-TN-OD-02	54-AN-00-02	26-RF-D1-01	22-AN-D1-02	49-RN-D1-01	31-RN-R2-01	02-LN-00-01	22-AC-UN-02	13-RF-00-01
24-HN-C0-01	06-HF-R1-01	50-RN-D1-01	58-TN-SP-02	45-HC-00-01	46-HC-00-01	06-HN-00-01	06-RN-OD-01	47-HC-IT-02
51-TN-C0-02	05-HN-00-02	39-TN-D1-01	11-HN-IT-01	41-HC-R1-01	55-HN-00-02	43-HN-C0-01	08-HN-D2-02	17-HN-UN-02
56-HN-IT-01	31-TF-IT-02	23-HF-00-01	05-LN-C0-02	11-RF-IT-02	14-TN-SP-02	38-HN-IT-01	45-AF-00-01	43-AF-OD-01
36-TC-00-01	20-TN-IT-02	09-AF-R1-02	23-TF-C0-01	02-HN-D1-02	24-AN-R1-02	26-HC-00-01	24-HC-00-01	46-AF-C0-02
34-TN-C0-02	01-RC-C0-01	46-RN-00-01	38-RC-00-01	37-RC-IT-01	16-TC-IT-02	38-RC-D1-01	24-HN-D1-02	38-RN-00-01
41-HN-C0-02	27-TN-IT-02	31-TC-D1-01	29-HN-R1-01	17-LN-SP-02	58-TN-00-02	43-RC-R1-01	05-HN-R1-02	24-TN-R1-01
46-HC-OD-01	03-RN-00-01	46-TN-R1-01	49-TF-UN-01	05-RN-00-01	27-TN-C0-01	43-RN-OD-02	20-HN-D1-01	55-HN-UN-02
12-TC-D1-01	44-HC-IT-02	13-HC-D1-01	17-HF-UN-02	44-HC-R2-02	05-HC-IT-01	18-TF-D1-01	48-AC-D2-02	23-HC-D1-01
28-HN-D1-02	48-HC-OD-01	18-RN-IT-02	08-HC-D1-02	52-TN-IT-02	02-TN-C0-02	16-TC-D1-02	52-TF-OD-01	17-AN-IT-02
52-LF-R1-01	43-RF-R2-01	21-RF-00-01	39-HN-00-01	11-RN-00-01	23-RC-C0-01	02-RN-R1-01	55-TF-00-02	47-TN-OD-02
29-AN-IT-01	30-LC-D1-01	23-RF-C0-01	35-RF-OD-01	29-RF-R1-01	31-LC-D1-01	21-RF-C0-01	35-AC-IT-01	55-RN-R1-01
34-RC-OD-01	16-HN-R2-02	25-TN-OD-01	03-HN-OD-02	47-LN-C0-01	40-HN-D2-01	10-HC-IT-01	48-TC-00-02	01-RC-D2-02
04-TN-D2-01	41-AN-IT-02	50-HN-C0-02	35-RN-00-01	17-AN-D2-01	38-TF-UN-01	30-TF-D1-01	43-AN-SP-01	27-TN-00-01
29-HC-C4-01	12-TN-R1-01	16-TC-OD-01	37-RC-D2-01	52-AN-D1-01	39-RC-D1-01	53-RN-OD-01	52-RF-R1-01	07-TC-R1-01
52-AC-IT-01	29-HC-00-01	21-RN-D1-01	28-AF-D2-01	33-TC-00-01	36-AC-D1-01	32-LF-00-01	35-RF-00-01	55-AN-UN-01
30-RF-SP-02	55-RF-C0-01	45-AN-R2-01	35-AN-C0-01	31-LC-OD-01	43-HC-R1-02	37-AN-D2-01	10-HC-UN-01	36-TC-D2-01
02-HC-UN-02	29-TN-D2-02	41-HC-00-02	42-TN-SP-01	05-TN-D2-02	09-HC-D1-01	29-HN-IT-01	50-TN-D2-02	20-TN-OD-02
12-TC-R2-02	45-TF-D2-02	18-AC-R2-02	23-LC-IT-01	43-LF-C0-01	43-RC-UN-02	46-LC-D1-01	12-LC-C0-01	12-HC-R1-01

06-HC-R1-01	11-HC-IT-01	48-HC-C0-01	31-HC-D1-01	06-TN-D1-01	06-TN-IT-02	43-TN-C0-01	31-HC-IT-01	33-TC-C0-01
55-TN-D1-01	55-TC-D1-01	07-HC-IT-01	23-HC-C0-01	21-HC-D1-01	55-TN-IT-01	41-AN-SP-02	49-TN-D2-02	02-HN-00-01
43-TN-D2-02	35-TN-SP-02	43-RN-OD-01	54-RN-R1-01	02-LC-IT-01	17-RN-IT-01	35-RN-R1-01	12-HN-R1-01	59-TN-IT-01
44-TF-D2-02	38-HC-C0-01	35-TF-R2-02	37-RN-OD-01	34-TN-IT-01	02-RN-D1-01	48-TN-SP-02	34-TN-IT-02	07-TN-D1-01
55-RN-D1-01	33-HC-IT-01	49-HN-D2-01	08-AN-R2-02	43-TN-D2-01	48-TN-D1-01	18-HN-R1-01	35-RN-IT-01	41-TN-R2-02
03-HC-R1-01	41-TN-D1-01	17-TN-IT-01	10-AC-D1-01	18-TC-00-01	36-TN-IT-01	22-TN-SP-02	01-TN-IT-01	06-TC-SP-01
35-TN-IT-02	40-HC-00-01	43-HN-D1-01	12-HN-C0-01	41-TN-C0-02	49-TN-00-01	04-HC-00-01	06-TN-UN-01	48-TC-D1-01
16-TC-IT-01	02-HN-C0-01	02-TN-C0-01	34-HN-IT-01	55-HC-00-01	12-HN-00-01	18-TN-IT-02	17-TN-00-01	16-HF-D1-01
03-HN-IT-01	02-TN-D2-01	08-RC-00-02	46-LF-D1-01	06-TN-D1-02	55-TF-R2-01	08-RF-IT-01	34-TC-IT-01	06-LN-D1-01
44-AN-00-01	31-RN-UN-02	38-RN-UN-02	38-TN-00-02	45-TN-D2-02	38-AF-IT-02	31-TN-C0-01	06-AC-SP-02	41-TC-UN-02
46-TN-D1-01	28-TN-00-02	13-LN-IT-01	40-TC-D1-01	17-TN-D1-01	37-TN-D1-01	41-TN-UN-02	48-TC-D2-01	48-TN-D2-01
35-HN-SP-02	54-TN-UN-02	21-AN-R1-02	46-RN-IT-01	31-RN-R1-01	01-RN-UN-01	31-TN-D2-01	49-HF-D2-01	33-TN-UN-01
51-RN-D1-01	39-RN-R1-01	11-TN-C0-01	23-RN-D1-01	01-RN-C0-01	30-RN-D1-01	08-RN-D1-01	46-RN-C0-01	11-RN-IT-01
23-HN-R1-01	44-HC-D1-01	12-RC-D1-01	05-RC-R1-01	16-TN-IT-02	49-HC-C0-01	35-TN-D1-02	48-TF-D1-01	33-HC-D1-01
42-HC-R2-02	18-RN-IT-01	06-TF-R2-02	16-LF-IT-01	50-HN-D1-02	14-HC-D1-01	35-HC-C0-01	16-HN-C0-01	05-TF-UN-02
19-HC-D1-01	18-TN-D2-01	10-TN-D1-02	11-RN-D1-01	37-TN-C4-02	33-HC-D1-02	09-TN-00-01	50-TN-D1-02	34-LC-D1-01
43-TN-SP-02	11-TN-IT-02	13-TN-IT-02	38-TN-D1-02	04-HC-R1-01	03-RF-SP-02	03-RC-UN-01	39-HC-D1-01	18-TF-OD-02
03-HC-00-01	49-HC-IT-01	08-HC-00-01	33-AN-D2-02	16-LN-R1-01	14-HC-IT-01	41-TF-D2-02	12-HC-D1-02	46-TN-D2-02
34-HC-C0-01	47-AN-UN-02	25-AF-SP-01	51-HC-C0-01	44-HC-C0-01	02-HC-R2-01	37-TN-UN-02	15-HN-SP-02	12-TF-D1-01
26-AC-SP-01	28-HC-D1-01	47-AC-UN-02	46-HN-UN-02	20-HC-IT-01	02-AN-00-02	14-HF-C0-01	09-AN-00-02	47-TC-SP-02
45-TF-IT-01	25-TN-IT-02	43-RC-C0-02	45-HC-SP-02	06-TF-IT-02	48-AF-D1-02	05-AF-D1-01	30-TN-IT-02	48-TF-D1-02
49-RN-IT-01	39-RN-IT-01	47-RC-C0-01	38-HN-D2-01	38-TN-UN-02	03-HC-IT-01	18-HN-00-01	17-TN-OD-01	35-TN-SP-01
22-RC-D1-01	54-AN-SP-02	38-RC-R1-01	08-RN-OD-01	45-RN-OD-01	50-RN-R1-01	33-RN-D1-01	43-RN-IT-01	45-HC-D2-02
50-RF-D1-02	48-RN-D1-02	30-RC-D1-01	32-HN-00-01	24-TN-D1-01	17-LC-IT-01	42-HC-R2-01	06-RN-00-01	34-LC-IT-01
55-TN-00-02	47-TN-R1-02	38-TC-D1-01	27-TN-D1-01	04-HC-IT-01	25-TN-00-02	38-HN-D1-02	28-HC-SP-02	17-TN-00-02
41-TN-OD-02	42-HN-SP-02	02-TN-R1-01	42-HN-UN-02	42-HC-R1-01	33-AN-R2-02	33-HC-00-01	04-HC-C0-01	25-TN-SP-02
45-RC-R1-01	04-HN-R1-02	16-HC-00-02	55-HC-00-02	31-TN-D1-02	35-HC-IT-01	33-TC-UN-02	46-TN-UN-02	43-TN-D1-02
45-LN-00-02	48-LC-00-02	04-AN-IT-02	33-TN-C0-02	29-HN-00-02	12-HC-D1-01	31-TN-D1-01	45-TC-D1-02	02-TN-IT-02
01-RC-OD-02	28-RC-R1-02	41-RC-IT-02	36-TC-SP-02	37-TN-OD-02	48-HC-OD-02	41-TC-C0-02	41-TC-R1-02	17-HC-R1-02
52-RF-00-01	03-LN-00-01	12-RN-00-01	07-RC-00-01	55-HC-R1-02	56-RN-00-01	42-RN-C0-01	22-TN-R2-02	42-RN-R1-01
11-TN-00-01	06-HN-R1-02	19-TN-C0-02	57-RN-IT-01	30-HC-00-01	25-HC-D1-01	19-AF-D2-02	19-TN-D2-02	55-TN-R1-01
35-RN-IT-02	24-TF-C0-02	50-HN-R1-02	37-HF-00-02	23-TF-R1-02	23-TN-IT-02	55-TN-IT-02	43-TN-R1-02	31-HC-C0-02
06-TN-OD-02	44-AC-SP-02	29-HN-IT-02	09-RN-D1-02	58-TN-C0-01	48-AN-D1-01	41-HN-00-02	03-AN-IT-01	02-LC-C0-01
33-RN-C0-02	42-TF-SP-02	12-TN-SP-02	15-TF-IT-02	05-RN-C0-01	28-HC-IT-01	43-RC-IT-01	52-TN-R1-01	41-RN-R1-02
58-TN-D1-02	35-TC-R1-01	29-HN-OD-02	18-TC-UN-02	34-RC-R1-01	43-AN-IT-02	15-TN-IT-02	41-HN-00-01	58-TN-D1-01
11-HN-R1-01	03-TC-R1-01	21-HC-C0-01	46-TN-00-02	04-LN-R2-02	16-HC-C0-01	33-LN-C0-01	16-AN-D2-02	44-LC-00-01
18-HC-R2-01	31-RN-D2-02	41-TF-D1-02	22-HN-D2-02	28-HC-00-02	26-HC-SP-02	01-TC-D1-02	37-TN-D2-02	17-AN-D2-02
48-HN-IT-01	56-RC-IT-01	02-RN-D1-02	43-AF-C0-01	28-HC-R1-01	52-TC-R1-02	43-HN-R2-02	03-TF-IT-01	19-HC-00-01
33-AN-00-02	52-HC-00-01	03-AN-R1-02	33-TN-IT-01	03-RN-D1-01	43-HC-00-01	46-HC-IT-01	48-LF-00-02	46-HN-IT-02
12-HC-D2-02	41-TF-IT-02	01-TC-IT-02	51-HN-C0-01	19-TF-C0-02	31-HN-00-01	19-TC-C0-01	19-RN-D2-02	43-RN-C0-01
05-TN-D1-02	25-AN-SP-02	51-TN-IT-02	41-HF-IT-01	17-RC-OD-01	58-HC-00-01	58-RN-C0-01	01-RN-D1-01	44-TN-IT-01
55-HN-D1-01	33-TN-D1-01	06-RC-IT-01	29-RN-IT-02	17-TN-C0-02	35-RN-R2-01	40-TN-D2-02	08-RN-UN-01	31-TC-D2-02
01-HN-R1-01	01-HN-D1-01	53-HN-00-01	33-TC-IT-02	25-RN-C0-01	06-HN-SP-02	47-LC-OD-02	20-TC-IT-01	08-HN-IT-02
53-HC-00-01	26-TN-R1-02	03-AN-D1-01	01-TN-D1-02	43-RN-IT-02	21-TN-IT-02	45-HC-IT-02	19-TN-00-02	14-TN-IT-02
28-HC-00-01	06-TF-UN-02	17-HC-R2-01	44-TN-IT-02	44-TN-D1-02	02-HF-00-02	06-LN-C0-01	58-LF-IT-01	06-HN-OD-02
52-LF-00-01	49-HC-00-02	43-LN-IT-02	48-TF-OD-01	04-TN-D1-01	49-HN-C0-01	28-TN-C4-02	36-RN-D1-01	14-TN-D1-02
50-HN-D2-02	16-HN-R1-02	43-HN-IT-02	08-TC-D1-01	52-TN-00-01	06-HC-R1-02	06-HC-R2-01	43-TN-SP-01	08-TC-SP-01
03-TN-C0-02	57-RF-C0-01	41-AN-D1-01	30-RF-R1-01	31-RF-R1-02	23-LN-R1-01	29-LF-D1-01	32-LF-R1-01	29-LN-00-01
43-HF-IT-01	43-HC-D2-02	06-LN-IT-02	48-LC-00-01	17-AN-IT-01	58-RN-00-01	34-TN-C0-01	55-RN-00-02	54-LN-R1-01
38-AF-IT-01	50-HN-UN-01	01-TN-UN-01	23-AC-D2-01	36-AN-C0-01	32-HC-00-01	31-RC-D1-02	10-TF-OD-01	59-AN-D1-01
14-TC-IT-01	45-TN-OD-02	26-AC-UN-02	39-HN-IT-02	06-TC-C0-02	15-HC-00-01	04-TN-R1-02	56-TN-D1-01	35-TN-UN-02
26-HC-OD-01	31-AF-D1-01	28-AN-C0-01	30-AF-C0-01	36-AF-00-01	53-RF-R1-02	35-RF-D2-01	37-AC-OD-01	31-LN-OD-01
29-AF-C4-01	14-AN-C0-01	57-HN-IT-01	20-TC-OD-01	31-RN-IT-02	06-HN-R2-01	43-RF-R1-01	43-LC-D1-01	56-TN-IT-01
52-TN-D2-02	25-TN-SP-01	58-HN-00-01	31-RN-D1-01	44-HC-R2-01	38-TF-UN-02	43-AN-OD-01	33-TN-R1-01	21-TN-UN-01
08-HC-SP-02	15-TN-C0-01	43-RF-R2-02	27-RN-C0-02	09-HN-D1-01	45-HN-D1-01	24-HC-D2-02	38-HN-SP-02	16-TN-D1-01

Annexe M : Tableau globale d'apprentissage

Codage	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB	Signe	NB
06-HC-D1-01	512	9	139	8	228	7	314	7	294	7	181	6	175	5	253	4	330	4	193	3	194	3	59	2	525	2	311	1	475	1	437	1	234	1	435	1
41-TN-SP-02	242	14	286	10	287	8	457	6	306	4	550	4	446	4	351	4	349	4	99	2	198	2	497	1	504	1										
41-TN-UN-02	362	8	538	7	504	7	547	6	361	6	412	5	416	3	306	2	99	2	446	2	23	2	409	1	21	1	345	1	257	1	147	1	342	1	349	1
41-TN-IT-02	415	7	395	7	277	6	306	5	266	5	538	3	99	3	351	2	412	2	367	1	147	1	446	1	375	1	137	1	406	1	75	1				
02-HC-D1-01	249	13	146	11	348	8	555	2	185	1	140	1	151	1	105	1																				
06-HC-C0-01	311	10	357	6	301	6	194	5	294	4	475	3	175	2	310	1																				
38-TN-SP-02	404	12	405	10	154	2	251	2	91	2	121	2	119	1	145	1	177	1	540	1	69	1														
48-TN-00-01	47	9	48	7	45	6	49	5	159	1	243	1	51	1	275	1	42	1	261	1	402	1														
48-TN-D2-02	552	8	258	7	326	5	421	4	434	4	18	2	516	1	475	1	470	1	157	1																
33-HC-00-01	546	8	87	7	547	4	497	4	124	4	535	2	254	1	106	1	315	1	102	1	363	1														
08-TN-00-01	32	11	255	7	408	6	35	5	33	4	386	1																								
02-TN-00-01	21	7	52	7	11	6	15	5	14	3	13	3	151	2																						
17-TN-IT-02	496	7	508	6	88	4	305	4	477	3	280	2	350	2	441	1	99	1	240	1																
08-RN-IT-01	303	11	307	10	37	8	408	1	35	1																										
31-TN-R1-02	285	10	120	8	271	6	270	5	264	1	68	1																								
41-HC-D1-01	108	11	332	6	153	5	96	4	551	3	339	1	384	1																						
02-HN-00-01	13	7	14	7	15	6	21	5	11	4	82	1																								
06-HC-IT-01	533	7	414	7	314	4	437	4	388	3	230	2	410	1	209	1	405	1																		
31-HC-IT-01	281	8	404	7	293	7	476	3	383	3																										
31-TN-IT-02	58	9	392	9	68	6	285	4																												
38-HC-IT-01	73	10	372	6	173	5	150	2	356	2	397	1	407	1	121	1																				
48-TN-00-02	157	7	258	4	149	3	275	3	396	2	541	2	121	1	519	1	406	1	18	1	325	1	342	1												
02-HN-C0-01	185	7	534	6	105	4	587	3	555	3	65	2																								
23-TN-00-01	39	10	38	9	16	6																														
41-HN-UN-02	230	5	381	4	147	4	504	3	361	3	99	3	547	2	362	1																				
41-TN-D2-02	395	6	366	5	94	4	504	4	141	2	277	1	230	1	137	1	362	1																		
38-TN-IT-02	540	6	531	4	69	4	112	3	86	2	160	1	532	1	273	1	154	1	541	1																
01-RN-IT-01	459	11	443	9	118	2	333	1	246	1																										
17-TN-IT-01	495	9	305	8	501	3	99	2	477	1	63	1																								
37-TN-IT-02	86	10	498	6	486	5	520	2	155	1																										
38-TN-00-02	526	5	396	4	325	3	160	2	69	2	532	2	507	1	554	1	416	1	541	1	137	1														
43-TN-C0-02	226	5	409	5	215	3	460	3	546	2	342	1	187	1	289	1	535	1	461	1																
02-TC-D1-01	471	21	262	1	492	1																														
33-HC-D1-01	247	5	106	4	547	4	246	4	535	2	138	1	265	1	91	1	219	1																		
37-TN-D1-01	23	10	20	9	111	2	151	1	223	1																										
41-TN-D1-02	335	6	497	5	111	2	544	2	94	2	21	2	23	2	224	1	106	1																		
01-TN-IT-02	513	7	489	4	420	3	113	2	122	2	66	1	553	1	236	1	169	1																		
07-HC-IT-01	209	9	235	6	437	2	405	2	314	1	230	1	469	1																						
18-HC-IT-01	487	7	241	6	390	6	130	2	526	1																										
43-TN-D1-01	328	4	445	4	202	2	35	2	126	2	161	1	291	1	21	1	327	1	240	1	226	1	39	1												
02-HC-C0-01	65	7	555	4	185	4	262	3	587	2	250	1																								
06-HC-00-01	59	7	374	4	230	4	405	1	533	1	253	1	388	1	414	1	437	1																		
19-HC-IT-01	440	12	425	9																																
33-HN-D1-01	247	8	246	6	497	2	106	1	83	1	464	1	315	1	219	1																				
55-HC-IT-01	323	10	385	8	139	2	140	1																												
48-TN-IT-02	326	5	137	3	470	2	159	2	257	2	261	2	325	1	266	1	106	1	112	1																
01-TN-UN-02	489	7	553	6	549	3	271	2	71	1	554	1																								
33-TN-00-02	258	9	268	6	87	2	67	1	35	1	121	1																								
35-TN-00-02	149	7	297	4	83	3	275	3	541	2	363	1																								
41-HC-C0-01	279	13	447	3	551	2	504	1	153	1																										
43-TN-D1-02	328	6	511	4	327	4	239	3	226	2	126	1																								
55-TN-00-02	502	7	18	6	110	5	453	1	296	1																										
02-HN-D1-01	146	6	341	4	249	2	151	2	185	1	105	1	534	1	14	1	318	1																		
02-RN-00-01	82	6	13	3	151	3	11	3	21	2	15	1	262	1																						
06-TN-IT-02	171	7	125	6	143	2	144	1	543	1	422	1	58	1																						
17-RN-IT-01	501	10	495	8	63	1																														
37-TN-SP-02	161	9	251	6	168	1	149	1	83	1	111	1																								
06-TN-SP-02	17	8	192	6	125	3	468	1																												
07-HC-00-01	437	5	235	5	405	4	469	2	374	1	209	1																								
08-HC-D1-01	222	8	253	4	374	3	310	1	181	1	265	1																								
08-TN-D1-01	36	10	386	5	309	2	32	1																												
13-HC-00-01	254	8	378	5	140	2	367	2	310	1																										
14-HC-00-01	367	8	378	5	413	4	254	1																												
17-HC-C0-01	72	8	515	6	292	4																														
17-HN-D1-01	488	7	428	5	510	4	148	1	240	1																										
18-RN-IT-01	499	10	260	8																																
31-RN-IT-01	423	9	383	4	260	2	404	2	259	1																										
31-TN-IT-01	259	6	260	5	423	3	519	1	58	1	68	1	392	1																						
31-TN-R1-01	270	5	120	4	271	4	259	3	260	1	283	1																								
33-TN-IT-02	373	9	536	4	541	1	268	1	48	1	16	1	67	1																						
47-TN-C0-02	546	6	535	6	289	3	460	1	461	1	127	1																								
48-TC-D2-02	475	10	434	3	224	2	421	2	552	1																										
01-TN-R1-02	528	8	71	4	513	2	169	1	458	1	210	1																								
08-TN-IT-01	307	8	37	3	408	2	255	2	234	1	158	1																								
11-HC-IT-01	491	9	70	6	203	1	222	1																												
12-HC-D1-01	294	3	228	3	175	3	139	2	181	2	193	1	475	1	59	1	253	1																		
17-RN-D1-01	518	10	510	5	428	1	488	1																												
35-RN-R1-01	368	7	97	5	364	4	369	1																												
49-HC-D1-01	490	5	454	4	144	4	136	2	372	1	173	1																								
49-TN-D2-02	517	11	507	2	540	1	69	1	400	1	416	1																								
51-TN-00-01	45	5	43	4	42	4	297	3	44	1																										
01-HC-00-01	150	8	254	3	253	3	456	2																												
08-AN-IT-02	53	9	317	7																																
08-TN-IT-02	338	7	317	3	398	3	433	2	53	1																										
33-TN-UN-02	417	6	67	4	316	3	35	1	536	1	275	1																								
37-HC-IT-01	356	11	173	3	151	1	454	1																												
41-HN-SP-02	374	11	286	2	99	2	504	1																												
41-TN-R1-02	351	4	406	4	381	3	349	3	99	1	446	1																								
48-HN-00-01	65	8	48	3	274	1	50	1	150	1	49	1	201	1																						
48-RN-00-01	49	6	45	3	47	3	48	2	288	2																										
48-TN-R1-02	159	5	123	4	18	3	275	2	480	1	224	1																								
03-TN-IT-02	420	3	66	3	489	3	236	2	344	1	553	1	122	1	513	1																				
14-HC-D1-01	115	6	265	5	378	2	453	1	222	1																										
16-TN-IT-02	144	6	143	4	365	2	350	2	116	1																										
31-TN-UN-02	273	7	500	6	225	1	392	1																												
35-HC-00-01	547	3	546	3	535	2	106	2	138	1	102	1	253	1	150	1	254	1																		
36-HC-IT-01	410	7	533	2	130	1	469	1	209	1	314	1	203	1	195	1																				
38-HC-D1-01	153	3	490	3	454	2	102	2	136	2	259	1	91	1	173	1																				
38-HN-D1-01	201	4	144	4	136	4	83	1	91	1	360	1																								

| | | |

| | | |

| | | |

| | | |

| | | |

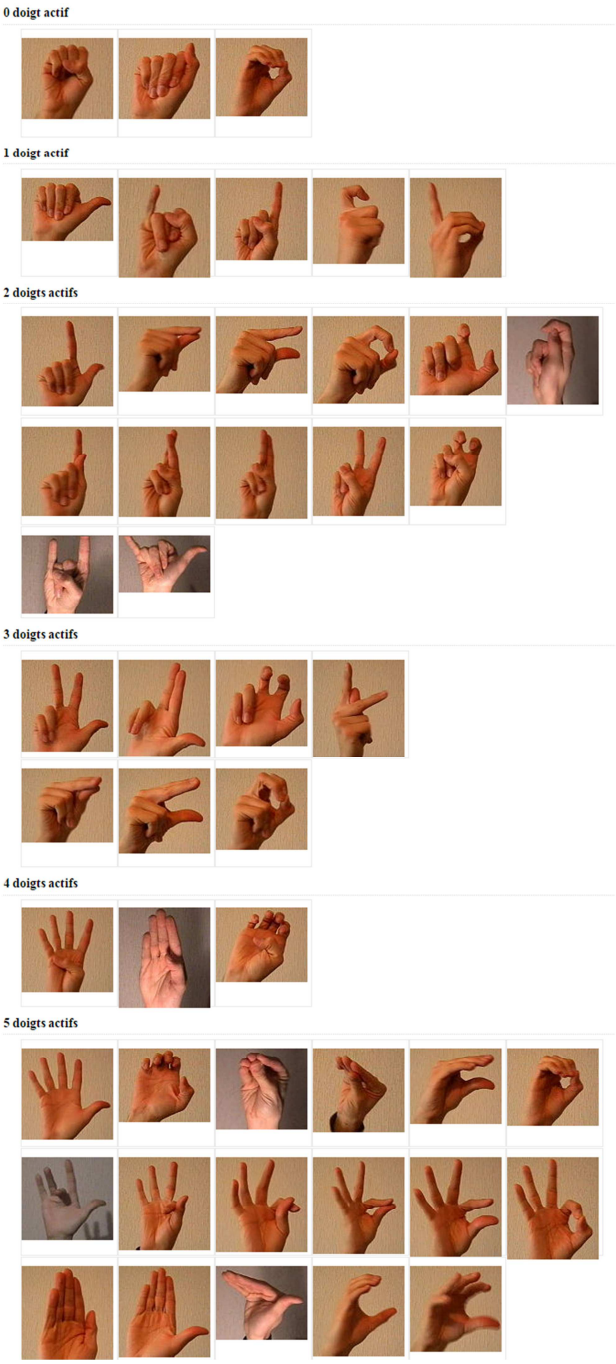
| | | |

| | | |

| | | |

Annexe N : Configurations de la main

WikiSign



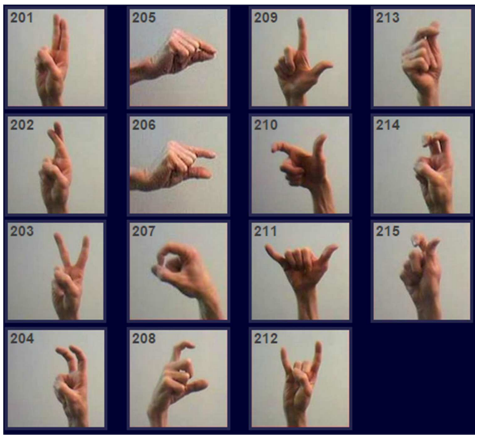
lsfdico – injsmetz



SourdLang

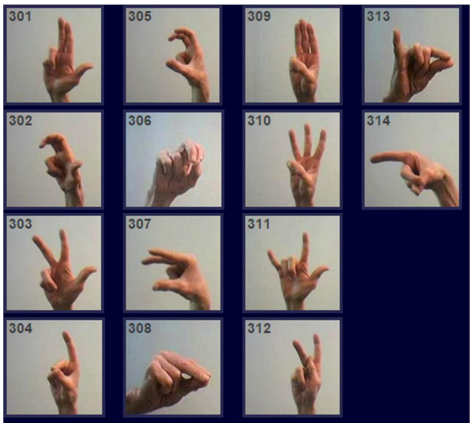

001
005
009
013
002
006
010
014
003
007
011
015
004
008
012
016


401
402


201
205
209
213
202
206
210
214
203
207
211
215
204
208
212


101
105
109
102
106
110
103
107
111
104
108


501
505
509
513
517
502
506
510
514
518
503
507
511
515
519
504
508
512
516


301
305
309
313
302
306
310
314
303
307
311
304
308
312