

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN OUTAOUAIS

**MODÈLE DE REPRÉSENTATION DES RELATIONS
SPATIALES POUR LE SYSTÈME D'ÉCRITURE DES
SIGNES SIGNWRITING**

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE

DU PROGRAMME DE MAÎTRISE EN INFORMATIQUE

Par

HASNA HOCINI

DECEMBRE 2015

Jury d'évaluation

Dr. Marek Zaremba Directeur de recherche

Dr. Nadia Baaziz Présidente du jury

Dr. Rokia Missaoui..... Membre du jury

Mémoire accepté le : 4 décembre 2015

« وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا »

"Et implore Allah en disant : Puisse-tu, Seigneur, élargir mon savoir!"

Coran, Sourate Ta-Ha, verset 114

Dédicace

Long est ce chemin qui mène à soi! J'espère qu'à travers ce mémoire, j'ai réussi à faire quelques pas...

Sur ce petit bout de chemin, il y a eu tant de rencontres, tant de visages, à qui j'aimerais dire MERCI. Je cite en particulier :

Mes chers parents, qui ont été là, pour moi, depuis le début...

Mon directeur de recherche, Dr. Marek Zaremba, à qui je dis encore une fois MERCI pour tout.

Ma sœur et mes deux frères et leurs familles respectives,

Mes chers amis : Nacera, Ithar, Iness, Soraya, Souhair, Anass, Samira, Sanaa, Souhila et Doaa.

Merci à tous !

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, Dr. Marek Zaremba pour son soutien exceptionnel. Merci pour tout.

J'aimerais aussi remercier Dr. Nadia Baaziz et Dr. Rokia Missaoui pour leur implication en tant que présidente et membre du jury et pour leurs remarques et corrections.

Mes remerciements vont aussi au Dr. Larbi Talbi, encore une fois au Dr. Nadia Baaziz, au Dr. Khelifa Hettak et au Dr. Luigi Logrippo, sans lesquels la présentation de ce travail n'aurait pas été possible.

Table des matières

Liste des figures	vii
Liste des tableaux	ix
Liste des abréviations.....	x
Résumé	xi
1 Introduction	1
1.1 Contexte	1
1.2 Objectifs de recherche.....	2
2 État de l’art sur les formalismes d’écriture des langues des signes.....	5
2.1 Introduction.....	5
2.2 Intérêt des formalismes d’écriture pour la langue des signes	6
2.3 Les systèmes de transcription de signes.....	7
2.3.1 La transcription Stokoe	7
2.3.2 Le système de transcription HamNoSys	9
2.4 Les systèmes d’écriture des signes	11
2.4.1 Le système d’écriture Tilkin	11
2.4.2 Le système SignWriting	12
2.5 Conclusion	26
3 État de l’art sur la représentation des relations spatiales	28
3.1 Introduction.....	28
3.2 Représentation symbolique d’une image	29
3.3 Les relations spatiales dans les images symboliques.....	30
3.4 La recherche d’images similaires.....	31

3.5	Modèles de représentation des relations spatiales	31
3.5.1	Représentation sous forme de chaînes de caractères.....	31
3.5.2	Représentation sous forme d'arbre.....	33
3.5.3	Représentation sous forme de liste de n-uplets	34
3.5.4	Représentation sous forme matricielle	34
3.5.5	Représentation par des fichiers de signatures	34
3.6	Conclusion	34
4	Méthodologie.....	35
4.1	Introduction.....	35
4.2	Approche proposée	36
4.3	Le modèle SW-string	37
4.3.1	Définition de SW-string	37
4.3.2	Algorithme de génération de SW-string	38
4.3.3	Algorithme de reconstruction du signe	43
4.3.4	Recherche de signes par similarité	45
4.4	Conclusion	54
5	Implémentation et évaluation expérimentale.....	55
5.1	Introduction.....	55
5.2	Dictionnaire de signes.....	56
5.3	Le système SW-Recherche	58
5.4	Protocole d'évaluation	64
5.5	Description des données	65
5.6	Jeu d'essai	66
5.7	Résultats et interprétation	71
5.8	La recherche de signes par symboles dans SignPuddle	77

5.9 Améliorations et travaux futurs	79
6 Conclusion Générale	82
Bibliographie.....	83

Liste des figures


Figure 1 : Écriture du signe « Bonjour » de la LSQ en SW,	2
Figure 2 : Transcription du signe « Histoire » dans le système Stokoe.	9
Figure 3 : Les paramètres configuration manuelle et emplacement de signation,	10
Figure 4 : Transcription HamNoSys du signe « Histoire » en LSF.....	11
Figure 5 : Le signe « Écrire» en LSF dans le système Tilkin.....	12
Figure 6 : Écriture du signe « Hello » de la LSA	13
Figure 7 : Comparaison de SignWriting avec les systèmes Stokoe et HamNoSys,	14
Figure 8 : Exemple de Code SSS d'un symbole de configuration de la main.....	15
Figure 9 : Les six remplissages possibles pour une configuration manuelle,.....	15
Figure 10 : Rotations et remplissages du symbole de base index tendu	16
Figure 11 : Les six symboles de contact (Wikipédia, 2001).....	16
Figure 12 : Le contact par le toucher dans le signe « More » du LSA,.....	17
Figure 13 : Le symbole de mouvement dans le signe « Nothing » du LSA,.....	17
Figure 14 : Le Symbole dynamique  , tiré de (Sutton V. , 2002).	18
Figure 15 : Symbole du visage avec sourcils levés, tiré de (Sutton V. , 2002).	18
Figure 16 : Torse tiré vers le haut, tiré de (Sutton V. , 2002).....	18
Figure 17 : Un symbole de ponctuation équivalent à la virgule,.....	19
Figure 18 : Interface utilisateur du dictionnaire de signes SignBank.....	20
Figure 19 : Un passage de « Goldilocks and the three bears » écrit en SW,	21
Figure 20 : Interface utilisateur de SignPuddle.	22
Figure 21 : Encodage SWML.....	23
Figure 22 : Signe Sourd en LSF - Variabilité intra-personnelle -,	25
Figure 23 : Signe Sourd en LSF - Variabilité interpersonnelle -,.....	25
Figure 24 : Une image exemple (a) et sa représentation symbolique en REM (b).....	29
Figure 25 : Codage des 9 relations directionnelles (Huang & Lee, 2004).	30
Figure 26 : Les huit relations topologiques fondamentales.....	31
Figure 27 : Représentation symbolique par grille d'une image.	32
Figure 28 : Le signe « Bonjour » en LSF écrit en SW.	36
Figure 29 : Décomposition du signe « Bonjour » en symboles SW.....	36
Figure 30 : Coordonnées cartésiennes d'un symbole SW dans la cellule.	39
Figure 31 : Formulation des relations spatiales à partir des coordonnées cartésiennes.	40
Figure 32 : Architecture du système de recherche de signes SW.....	45

Figure 33 : Les relations spatiales 1D entre S_1 et S_2 (axe des x).	47
Figure 34 : Similarité de niveau 1 entre S_1 et S_2	50
Figure 35 : Le signe « Enjoy » écrit en SW.	56
Figure 36 : La description du signe « Enjoy » dans le fichier SBML.xml.....	56
Figure 37 : La description du signe « Enjoy » dans le fichier 2D-string SBML.xml.....	57
Figure 38 : Algorithme de recherche de signes dans SW-Recherche.	58
Figure 39 : Interface du système SW-Recherche.	58
Figure 40 : Le sous-menu « Signes » de SW-Recherche.	59
Figure 41 : Le sous-menu « Fichiers » de SW-Recherche.	59
Figure 42 : La boîte de dialogue « Créer un signe ».	60
Figure 43 : La boîte de dialogue « Visualiser ».	61
Figure 44 : La boîte de dialogue « Recherche dans SW-string » - Niveau1 -.	62
Figure 45 : La boîte de dialogue « Recherche dans SW-string » - Niveau2 -.	62
Figure 46 : La boîte de dialogue « Résultat de recherche ».	63
Figure 47 : Mesures de rappel et de précision.....	64
Figure 48 : Exemples de signes de test pour l'évaluation de SW_Recherche.....	68
Figure 49 : Exemples de signes de test pour l'évaluation de SW-Recherche (Suite).	69
Figure 50 : Exemples de signes de test pour l'évaluation de SW-Recherche (Suite).	70
Figure 51 : Résultats obtenus pour la requête du signe « Valerie Sutton ».	76
Figure 52 : Interface SignPuddle pour la recherche de signes par symboles.	78
Figure 53 : Résultats de recherche du signe ASL « Raise » dans SignPuddle.	79

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes de chérèmes, tiré de (Losson, 2000).....	8
Tableau 2 : Les graphèmes du système Tilkin.	11
Tableau 3 : Les sept opérateurs spatiaux 1D de 2D C-string.	33
Tableau 4 : Les quatre opérateurs spatiaux 1D de SW-string.	38
Tableau 5 : Récapitulatif des règles de similitude de niveau 1 entre les relations spatiales...	48
Tableau 6 : Récapitulatif des règles de similarité de niveau 2 entre s_1 et s_2	51
Tableau 7 : Récapitulatif de la distance $depl^x$ entre deux paires de symboles (s_1, s_2).....	52
Tableau 8 : Les valeurs des seuils (en pixels) dans SW_Recherche.	66
Tableau 9 : Récapitulatif des résultats des tests par catégorie.....	71
Tableau 10 : Récapitulatif des résultats des tests pour les exemples de signes.....	72

Liste des abréviations

SW	Le système d'écriture SignWriting.
LSQ	Langue des signes québécoise.
LSA	Langue des signes américaine.
LSF	Langue des signes française.
SSS	Sign Symbol Sequence.
SWML	SignWriting Markup Language.
VRML	Virtual Reality Markup Language.
MPEG	Moving Picture Experts Group.
REM	Rectangle englobant minimum.
ISWA	International SignWriting Alphabet.
SRI	Système de recherche d'information.

Résumé

SignWriting est un système d'écriture des signes caractérisé par son intuitivité et sa convivialité. Sa principale particularité est qu'il a été inventé dans le but de permettre la diffusion du savoir en langues des signes.

SignWriting s'appuie sur la capacité naturelle de l'être humain à écrire et à interpréter des symboles organisés sur un plan bidimensionnel. Cette spatialisation analogique des symboles qui forment le signe représente un défi quant à l'informatisation de ce système d'écriture et ne permet pas, par conséquent, son utilisation dans des applications usuelles comme les applications de bureautique et de traduction automatique.

Pour résoudre ce problème, il faut tenir compte des spécificités de SignWriting et de ses règles d'écriture des signes, à savoir les relations spatiales entre les différents symboles constituant le signe.

Il s'agit dans ce travail de proposer une modélisation de ces relations spatiales en se basant sur les travaux de représentation des relations spatiales dans les images symboliques, en l'occurrence, le modèle de représentation 2D-string. L'objectif étant d'effectuer une recherche de signes qui permet de faire correspondre un signe SignWriting introduit par un utilisateur avec sa représentation informatique afin de permettre son identification en vue de l'informatisation du système d'écriture SignWriting.

Abstract

SignWriting is an iconic writing system for sign languages that is highly intuitive and user-friendly. It was invented primarily with the aim of allowing for rapid knowledge dissemination in sign languages.

SignWriting relies on the natural ability of humans to write and interpret symbols organized on a two dimensional plane. This analog spatial representation of symbols that form the sign is a challenge in terms of the computerization of this writing system and does not permit its use in such applications as desktop computing and machine translation.

In order to resolve this issue, we must take into account the specificities of SignWriting and its rules for writing signs, namely, the spatial relationships between the different symbols constituting the sign.

In this thesis, we propose and investigate modeling of the spatial relationships in symbolic images based on the 2D-string representation model. The aim of the proposed model is to search for signs that can match a SignWriting sign entered by a user with its computer representation, and to automatically identify the sign, which will lead to the computerization of the SignWriting system.

Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte

L'écriture joue un rôle central dans tous les aspects de notre vie. En effet, en plus d'être un moyen de communication, l'écriture permet la transmission du savoir. Cependant, la communauté des sourds est confrontée à de grandes difficultés face à l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, ce qui constitue un réel obstacle empêchant son insertion sociale et professionnelle.

Les sourds communiquent entre eux en langue des signes qu'ils considèrent comme leur première langue. Ils ont de la difficulté à maîtriser les langues orales parce qu'ils ont un accès limité, voire nul, à la modalité orale. Il serait, par conséquent, particulièrement intéressant de permettre aux sourds, en plus de communiquer dans leur langue première, d'écrire cette langue et de bénéficier de tous les avantages qu'un tel progrès engendre.

Des systèmes d'écriture des signes ont été proposés afin d'apporter une solution à ce problème. Notre attention a été portée sur le système SignWriting, créé par Valérie Sutton en 1974, dans le but d'offrir aux sourds du monde entier un moyen convivial et intuitif pour échanger dans leurs langues premières.

SignWriting est intuitif parce qu'il s'appuie sur la capacité naturelle de l'être humain à écrire et à interpréter des symboles organisés dans un plan bidimensionnel. Les différents symboles permettent de représenter les segments corporels (la configuration de la main, la tête, les épaules, etc.), ou les mouvements de ces derniers. Le positionnement de ces symboles dans un plan bidimensionnel permet d'offrir une représentation visuelle de la scène.

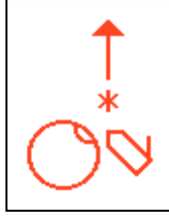


Figure 1 : Écriture du signe « Bonjour » de la LSQ en SW,
tiré de www.signwriting.org.

La convivialité du système d'écriture SignWriting a été la raison derrière sa grande popularité au sein de la communauté des sourds. Il est actuellement enseigné dans plusieurs écoles à travers le monde.

1.2 Objectifs de recherche

Ce système d'écriture étant le plus adéquat des modes d'écriture existants actuellement, son informatisation contribuera à briser l'isolement dont souffre la communauté des sourds, en lui permettant l'accès aux technologies de l'information et de la communication, afin de bénéficier des avancées technologiques, au même titre que le reste de l'humanité.

Informatiser SignWriting revient à trouver une solution au problème de l'identification d'un signe écrit dans ce système. En effet, à chaque itération d'écriture d'une variante donnée d'un signe, les symboles seront déplacés, à cause de l'imprécision d'une manipulation manuelle dans un plan bidimensionnel, et aussi, du fait qu'une même interprétation peut être donnée à différentes dispositions des symboles constituant un signe. Ainsi, l'absence de bijection entre le signe et sa représentation SignWriting constitue un obstacle majeur quant à son informatisation. En effet, actuellement, la seule représentation qui existe pour un signe SignWriting se base sur la liste des symboles qui le constitue et leurs coordonnées cartésiennes dans la cellule où le signe est écrit. Il existe donc un grand nombre de représentations pour un même signe écrit en SignWriting.

Par ailleurs, un signe écrit en SignWriting peut être assimilé à une image symbolique. Une image symbolique est une image dans laquelle les objets d'intérêt ont été identifiés préalablement. Ces objets sont donc représentés par des étiquettes de niveau logique.

Plusieurs travaux de recherche se sont intéressés au problème de la représentation des relations spatiales dans les images symboliques.

L'objectif de ce travail est de proposer une solution au problème de recherche de signes écrits en SW. En effet, il s'agit de proposer une modélisation des signes SW c.-à-d. des relations spatiales entre les symboles composant le signe et ceci en se basant sur les travaux de représentation des relations spatiales dans les images symboliques. Cette modélisation permet l'indexation et la recherche de signes en préservant les informations clés pour que la recherche de similarité entre images symboliques, en l'occurrence, entre signes, soit en mesure de fournir de bons résultats. Le but étant de faire correspondre un signe SW introduit par un utilisateur avec sa représentation informatique et de permettre ainsi son identification en vue de l'informatisation du système d'écriture SW. Sans une telle identification, un signe introduit par un utilisateur ne pourrait pas être exploité par les applications usuelles comme les applications de bureautique et de traduction automatique des signes.

Un outil logiciel SW-Recherche a été développé, mettant en œuvre la modélisation proposée et permettant à l'utilisateur d'introduire un signe (une requête) et de le comparer aux signes de la base de données de signes afin de proposer un ensemble de signes similaires.

Le reste de ce document est structuré comme suit :

Le deuxième chapitre présente les principaux formalismes d'écriture existants pour la langue des signes. Un intérêt particulier est porté au système d'écriture SignWriting qui y est décrit en détail. Le chapitre 3 présente un état de l'art sur les modèles de représentation des relations spatiales dans les images symboliques. Dans le chapitre 4, une solution au problème de modélisation des signes écrits en SignWriting est proposée. Il s'agit du modèle SW-string qui se base sur le modèle 2D-string de représentation des relations spatiales dans les images symboliques. Le chapitre 5 présente le logiciel SW-

Recherche qui implémente le modèle SW-string, ainsi que les résultats de l'évaluation expérimentale. Enfin, la conclusion générale de ce travail est exposée au dernier chapitre.

Chapitre 2

État de l'art sur les formalismes d'écriture des langues des signes

Dans ce chapitre, nous présentons les formalismes d'écriture des langues des signes existants dans la littérature et nous mettons l'accent sur le système d'écriture des signes SignWriting qu'on décrit avec plus de détails.

2.1 Introduction

De réelles difficultés d'apprentissage de la lecture et de l'écriture ont été constatées chez les sourds. Elles peuvent être expliquées par le fait que les sourds sont confrontés à apprendre à lire et à écrire dans une langue qu'ils ne peuvent pas maîtriser comme langue première parce qu'ils n'ont pas accès à la modalité orale. Ainsi, il sera intéressant que les langues signées, seules langues entièrement accessibles aux sourds, comportent des modalités écrites.

Plusieurs formalismes d'écriture pour les langues signées ont été proposés. Ils se divisent principalement en deux catégories : les systèmes de transcription, d'une part, et les systèmes d'écriture pour un usage courant, d'autre part. Un système de transcription ne vise pas la convivialité, mais plutôt à noter avec précision un ou plusieurs aspects linguistiques d'une langue signée. Le premier système de transcription a été proposé par William Stokoe (Stokoe, 1960) dans le cadre de ses recherches visant à démontrer que les signes ont une organisation linguistiquement analysable. À la suite de Stokoe, d'autres

chercheurs ont proposé leurs propres systèmes enrichissant ainsi l'inventaire des systèmes de transcription des langues signées. Nous citons à titre d'exemple, le système HamNoSys (Prillwitz & Zienert, 1987) et le système Liddell-Johnson (Liddell & Johnson, 1989).

De leur côté, les systèmes d'écriture sont créés dans l'optique de constituer une modalité écrite pour la langue des signes. Ils se distinguent des systèmes de transcription par leur utilisation par l'ensemble des locuteurs d'une langue plutôt que seulement par les spécialistes de cette même langue.

2.2 Intérêt des formalismes d'écriture pour la langue des signes

Du fait que la langue des signes est le mode de communication naturel des sourds, la langue orale ne constitue qu'une deuxième langue et la plupart des sourds ont des difficultés pour l'apprentissage de l'écrit dans cette langue.

Christian Cuxac dans (Cuxac, 1991) explique : « la méthode oraliste subordonne toutes les acquisitions à la connaissance préalable de la langue orale, seule admise à véhiculer l'information. On imagine l'effort intense auquel doit être constamment soumis un enfant qui n'entend pas, placé dans des conditions où l'essentiel de ce qu'il doit appréhender passe par l'audition. Ce choix pédagogique institutionnalise le retard scolaire voire l'échec scolaire de l'enfant sourd ».

Ainsi, être en mesure d'écrire la langue des signes permet de réduire l'illettrisme chez les sourds grâce à une forme écrite qui correspond à leur première langue. En effet, l'absence de cette forme écrite perpétue l'illettrisme à cause des difficultés d'accès à la connaissance, car pour un sourd cette problématique est double. En plus de l'apprentissage, il doit aussi déchiffrer la forme écrite de cette langue, différente de sa langue naturelle.

De plus, le besoin d'un support écrit pour les langues des signes a augmenté avec l'utilisation de l'outil informatique, car il était nécessaire d'avoir un support pour représenter les signes, autre que la vidéo qui présente des limites quant à sa création, son stockage et sa transmission.

Des formalismes d'écriture ont été proposés afin d'apporter une solution à ces problèmes. Dans la majorité de ces systèmes, les symboles se succèdent de gauche à droite, sur une ligne, comme dans les formalismes d'écriture des langues vocales.

2.3 Les systèmes de transcription de signes

Un système de transcription de signes est principalement utilisé dans les recherches en linguistique dans le but de décrire et d'effectuer des études sur la phonologie, la syntaxe, la morphologie ou la sémantique des langues des signes. Ainsi, un système de transcription vise à rendre possible l'écriture de tous les détails pertinents pour la recherche et la description de la langue. On veut transcrire tous les phonèmes ainsi que toutes les informations morphologiques et sémantiques contenues dans un signe. En général, un tel système est modifié régulièrement pour s'adapter aux besoins de la recherche.

2.3.1 La transcription Stokoe

Le système de transcription Stokoe (Stokoe, 1960) a été conçu par William Stokoe, professeur de littérature médiévale à l'Université Gallaudet. Stokoe a été le premier linguiste à démontrer que les langues des signes sont des langues à part entière. Ses travaux sur la langue des signes américaine lui ont permis de proposer une description de la langue des signes américaine en termes de phonèmes, qu'il dénomma chérèmes. Ces chérèmes sont classés en trois catégories (Stokoe, 1960) : la configuration des mains, l'emplacement de signation et le mouvement effectué par les mains. Pour chaque classe, Stokoe définit un nombre d'unités possibles. Il a ensuite démontré que ces chérèmes respectaient une structure identique à celle trouvée dans les langues orales. Il a également montré que les spécificités de certains aspects des langues des signes comme la simultanéité des éléments ne compromettaient en rien leur statut de langue à part entière.

Stokoe a défini 55 symboles pour représenter les trois paramètres : configuration des mains, emplacement de signation et mouvement. Pour transcrire un signe, ces symboles étaient écrits dans un ordre strict, bien que quelques variations soient possibles.

Tableau 1 : Classes de chérèmes, tiré de (Losson, 2000).

Classe de chérèmes	Nombre	Description	Exemples	
Tabulateur (<i>Tabular</i> , TAB)	12	Position de la main (ou des mains) dans l'espace.	[]	tronc
			G	cou
Désignateur (<i>Designator</i> , DEZ)	19	Forme signifiante de la main (ou des mains). Elle est vue relativement au TAB (à l'intérieur, contre, dessus, ...)	A	poing fermé
			B	main ouverte
Mouvement (<i>Signation</i> , SIG)	24	Action effectuée, " dans" la position du tabulateur, par le désignateur (si le signe comporte effectivement une phase dynamique).	>	à droite
			T	vers le signeur

Poursuivant les travaux de Stokoe, de nombreuses variantes du système ont été créées par différentes équipes de recherche identifiant d'autres paramètres intervenant dans la formation et la distinction des signes.

Le système de transcription de signes Stokoe n'a pas été conçu pour l'échange d'informations. Il n'est pas convivial mais est principalement utile aux chercheurs en linguistique.

Transcription : $\emptyset F^x F^+ \omega$

<i>Chèreme</i>	<i>Symbole</i>	<i>Signification</i>
Tabulateur (TAB)	\emptyset	Espace neutre devant le torse
Désignateur (DEZ)	$F^x F$	Configuration manuelle F pour les deux mains initialement en contact
Mouvement (SIG)	$+ \omega$	Séparation (+) des mains et rotation simultanée du poignet (ω)




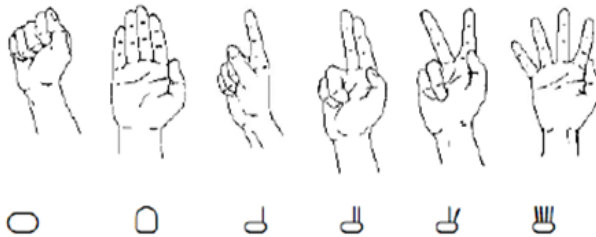
Figure 2 : Transcription du signe « Histoire » dans le système Stokoe, tiré de (Losson, 2000).

2.3.2 Le système de transcription HamNoSys

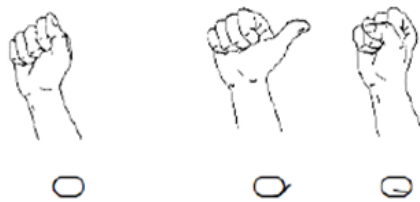
Le système de transcription HamNoSys (Prillwitz & Zienert, 1987), acronyme d'Hamburg Notation System, a été développé à l'origine pour la langue des signes allemande. Il visait, comme le système Stokoe, à noter les signes et non à fournir un outil pour écrire ou communiquer dans la langue des signes. Cependant, contrairement à Stokoe qui a permis de noter la langue des signes américaine, HamNoSys se donne comme objectif d'être utilisable par toutes les langues des signes du monde. Tout en restant unilinéaire, les symboles utilisés par HamNoSys sont très iconiques afin de faciliter l'apprentissage du système.

Handshapes

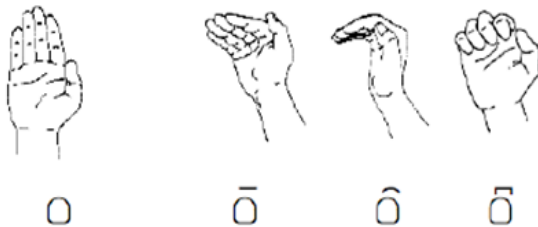
Base forms...



are combined with diacritical symbols for thumb position



and bending.



Locations - Head and Body

	left to	left side of	center of	right side of	right to
○ above head	○	○	○	○	○
○ head	○	○	○	○	○
∩ forehead	∩	∩	∩	∩	∩
△ nose	△	△	△	△	△
○ mouth	○	○	○	○	○
∩ tongue	∩	∩	∩	∩	∩
∩ teeth	∩	∩	∩	∩	∩
∩ chin	∩	∩	∩	∩	∩
∩ below chin	∩	∩	∩	∩	∩
∩ neck	∩	∩	∩	∩	∩
∩ shoulder line	∩	∩	∩	∩	∩
∩ breast line	∩	∩	∩	∩	∩
∩ belly line	∩	∩	∩	∩	∩
∩ abdominal line	∩	∩	∩	∩	∩
	left to the left	left	between both	right	right to the right
∩ eye brows	∩	∩	∩	∩	∩
∞ eyes	∞	∞	∞	∞	∞
? ears	?	?		?	?
} cheeks	}	}		}	}

Figure 3 : Les paramètres configuration manuelle et emplacement de signation, tiré de (Hanke, 2004).

Ce système utilise les trois paramètres définis par Stokoe auxquels s'ajoute le paramètre orientation de la main. HamNosys compte actuellement près de 200 symboles pour représenter les configurations, les emplacements, le mouvement et l'orientation des mains.

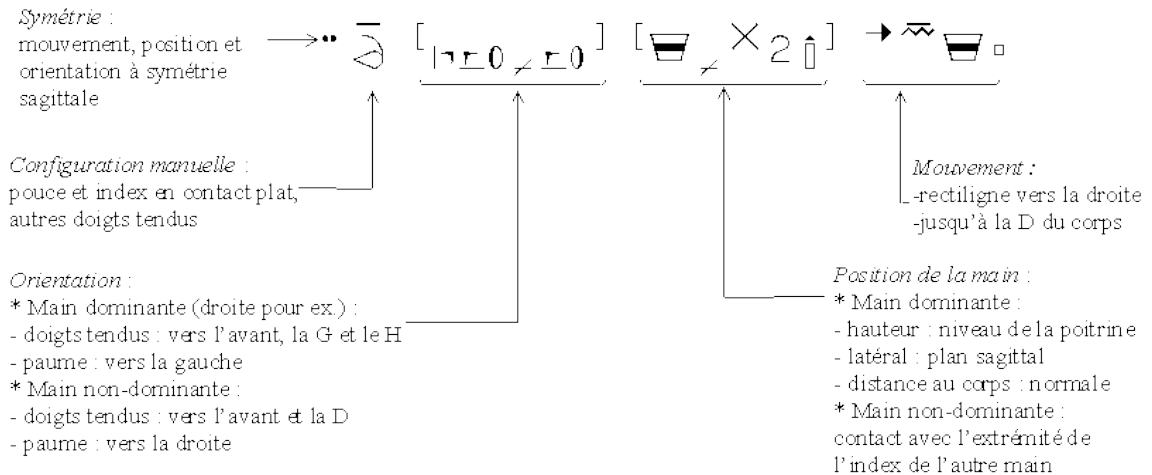


Figure 4 : Transcription HamNoSys du signe « Histoire » en LSF, tiré de (Losson, 2000).

2.4 Les systèmes d'écriture des signes

Les systèmes d'écriture des signes se distinguent des systèmes de transcription par le fait qu'ils ont été conçus pour être utilisés par l'ensemble de la communauté des sourds afin de constituer une modalité écrite pour la langue des signes.

2.4.1 Le système d'écriture Tilkin

Le système Tilkin (Bergeron, 2004) emploie les mêmes graphèmes que les systèmes pour les langues orales. Il est composé d'environ soixante lettres, chiffres et symboles typographiques.

Tableau 2 : Les graphèmes du système Tilkin.

Classe de chèreme	Graphème
Formes	18 lettres pour les configurations de la main
Mouvements	9 lettres pour les mouvements de la main
Corps	6 lettres pour les lieux d'articulation
Visages	12 lettres pour les expressions faciales
Directions	4 chiffres et deux symboles typographiques pour les directions
Parties	5 chiffres pour les parties du corps
Autre	4 symboles typographiques pour le changement de main, le parallélisme, la symétrie des comportements manuels, et le contact

Par exemple, le signe « Écrire » de la LSF est noté dans le système Tilkin par la chaîne unilinéaire suivante : s28dd+!F-17 (Bergeron, 2004).

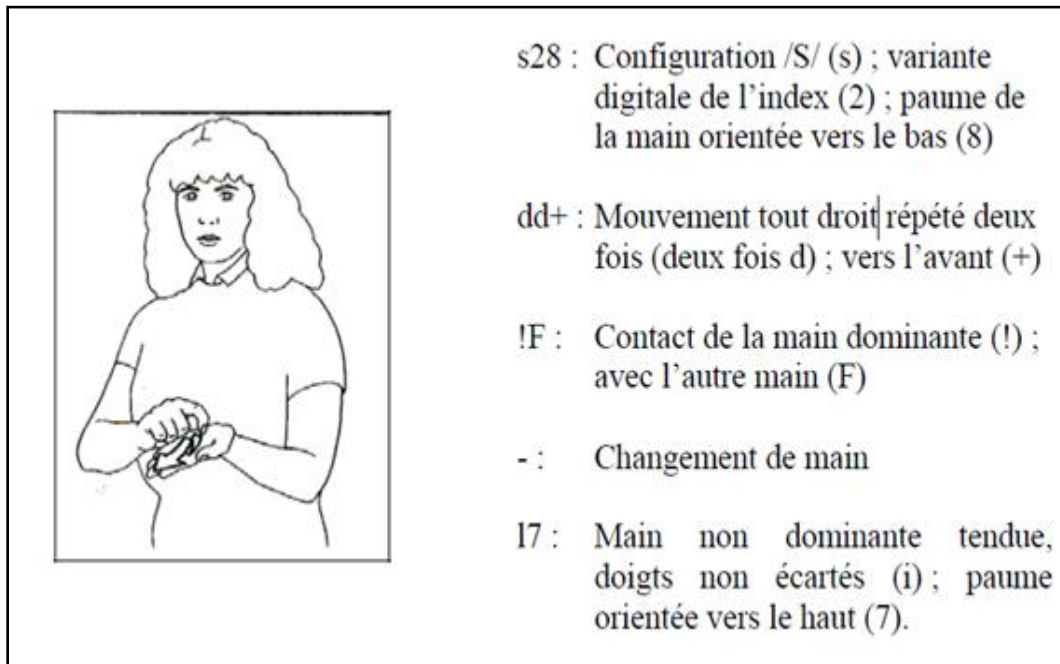


Figure 5 : Le signe « Écrire » en LSF dans le système Tilkin, tiré de (Moody, 1986).

2.4.2 Le système SignWriting

Le système d'écriture SignWriting (Sutton V. , 1996) a été développé en 1974, quand des chercheurs de l'université de Copenhague ont demandé à Valérie Sutton d'adapter son système de notation des mouvements de danse et de l'utiliser pour la notation des langues des signes.

Ce système a été créé dans le but d'offrir aux sourds un moyen convivial et intuitif pour échanger dans leur langue première, la langue des signes. Sa convivialité a été la raison derrière sa grande popularité et son utilisation par la communauté des sourds, à laquelle il a offert, depuis son développement, un monde de littérature écrite tels que des livres, des journaux, des dictionnaires, etc. Il a également contribué à l'enseignement dans la langue des signes, de différentes matières, dans diverses écoles à travers le monde.

Le système SW permet de noter les différents paramètres du signe dans une forme visuellement accessible. Ainsi, différents symboles sont positionnés sur un plan bidimensionnel appelé cellule pour former le signe. Ces symboles représentent des segments corporels ou leurs mouvements.

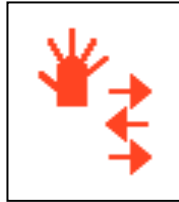





Figure 6 : Écriture du signe « Hello » de la LSA en SW, tiré de www.signwriting.org.

On voit dans l'exemple de la Figure 6 que le signe « Hello » en LSA est composé de quatre symboles. Le symbole  pour décrire la configuration de la main et les symboles  et  pour décrire les mouvements de la main.

La Figure 7 permet de faire une comparaison entre le système SignWriting et les systèmes Stokoe et HamNoSys.



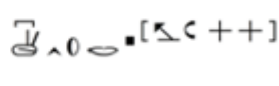


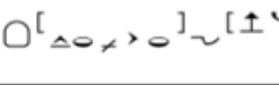


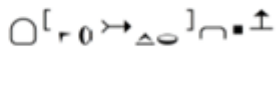


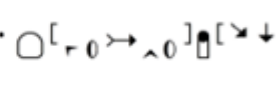


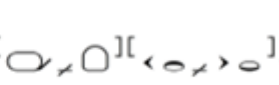
	SignWriting	Stokoe	HamNoSys
Snake			
Enter			
Don't Know			
House			
Establish			

Figure 7 : Comparaison de SignWriting avec les systèmes Stokoe et HamNoSys, tiré de (Thiessen, 2011)

Les symboles composant les signes SW sont particulièrement nombreux et ne cessent de s'enrichir depuis la création de SW. Actuellement, il y a 37 840 symboles. L'alphabet ISWA (International Sign Writing Alphabet) est défini par la norme SSS (Sign Symbol Sequence) (Sutton V. , 2004). Cette séquence est créée dans le but de permettre de trier les signes dans un dictionnaire de signes, d'une façon similaire au tri des mots par ordre alphabétique dans un dictionnaire de mots.

2.4.2.1 La codification SSS

Dans l'alphabet ISWA, chaque symbole a un code unique. Ce code s'obtient par la juxtaposition de six paramètres; la catégorie, le groupe, le symbole de base, la variation, le remplissage et la rotation. Ainsi, l'ISWA 2010 a quatre hiérarchies. Au premier niveau, on trouve sept catégories. Sous les catégories, il y a 30 groupes de symboles. Sous chaque groupe, il y a un total de 652 symboles de base. Et finalement, sous chaque symbole de base, il y a au maximum 96 symboles valides.

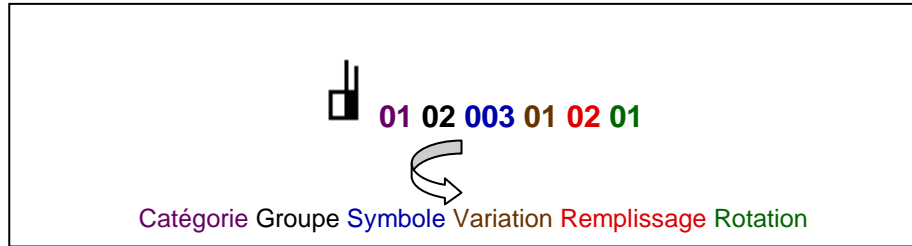


Figure 8 : Exemple de Code SSS d'un symbole de configuration de la main.

2.4.2.2 Les catégories de l'ISWA 2010

Les sept catégories de l'ISWA 2010 sont : les configurations manuelles, les mouvements, les symboles dynamiques, les symboles de la tête et du visage, les symboles du corps, les symboles de position et les symboles de ponctuation.

Dans ce qui suit, la description des sept catégories de l'ISWA 2010 :

- **Les configurations manuelles :** elles contiennent les symboles représentant les configurations manuelles des différentes langues des signes à travers le monde. Ces symboles sont classés dans dix groupes. Chaque groupe contient plusieurs symboles de base. Chaque symbole de base produit plusieurs symboles selon les paramètres variation, remplissage et rotation. Ces derniers permettent de définir finement les symboles. Le remplissage sert à indiquer la facette de la main exposée. Le blanc pour la paume de la main et le noir pour le dos de la main.

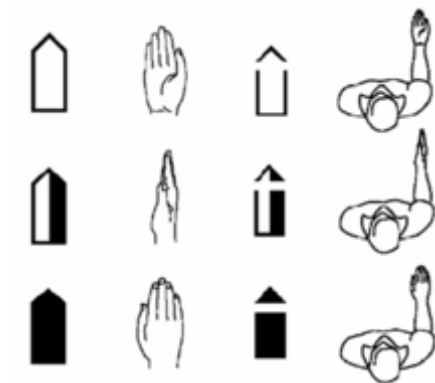


Figure 9 : Les six remplissages possibles pour une configuration manuelle, tiré de (Sutton V. , 1996).

De leur côté, les 16 orientations spatiales servent à spécifier l'orientation dans l'un des deux plans suivants : le plan vertical parallèle au mur frontal et le plan horizontal parallèle au plancher.

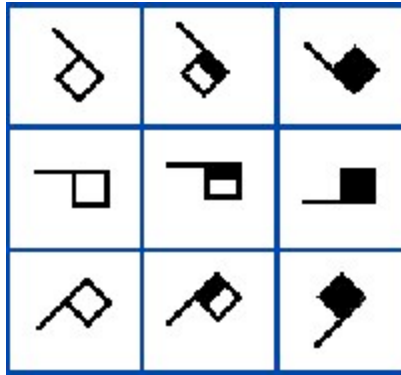


Figure 10 : Rotations et remplissages du symbole de base index tendu, tiré de (Aznar, 2008).

La variation sert au besoin à codifier des symboles spéciaux.

- **Les mouvements** : cette catégorie contient les six symboles de contact ainsi que les symboles de mouvement.



Figure 11 : Les six symboles de contact (Wikipédia, 2001).

Un symbole de contact décrit un contact entre deux mains ou entre une main et une partie du corps.

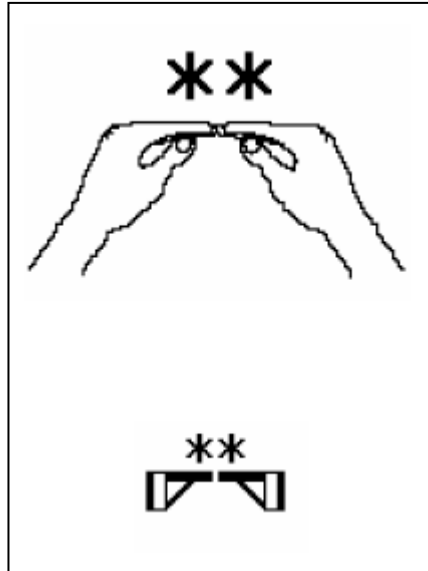


Figure 12 : Le contact par le toucher dans le signe « More » du LSA,
tiré de (Sutton V. , 2002).

Un symbole de mouvement permet de décrire le mouvement de la main qui peut être droit, rectiligne ou circulaire. Les symboles de cette catégorie sont eux aussi classés en 10 groupes.

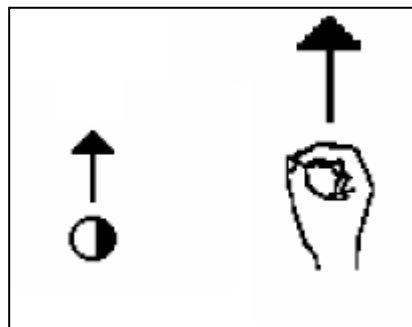


Figure 13 : Le symbole de mouvement dans le signe « Nothing » du LSA,
tiré de (Sutton V. , 2002).

- **Les symboles dynamiques** de mouvement sont des symboles qui décrivent le mouvement en indiquant par exemple, s'il est rapide, lent, doux ou tendu. Ils sont également utilisés pour indiquer qu'une main est maintenue longtemps dans une position donnée.

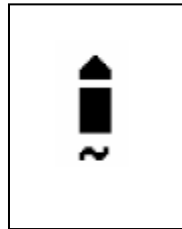


Figure 14 : Le Symbole dynamique ~ , tiré de (Sutton V. , 2002).

- **Les symboles de la tête et du visage** permettent de noter les mouvements et les positions de la tête ainsi que les différentes expressions faciales.

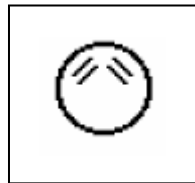


Figure 15 : Symbole du visage avec sourcils levés, tiré de (Sutton V. , 2002).

- **Les symboles de corps** permettent de décrire les segments corporels : torse, épaule, hanche bras et jambe, et leurs mouvements.

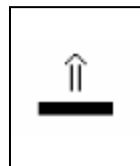


Figure 16 : Torse tiré vers le haut, tiré de (Sutton V. , 2002).

- **Les symboles de position détaillée** ne sont pas utilisés pour écrire les signes mais plutôt pour des recherches en linguistiques qui demandent des notations plus précises des signes.
- **Les symboles de ponctuation** permettent d'écrire des phrases en SW et sont tout autant nécessaires qu'est la ponctuation pour les langages oraux.

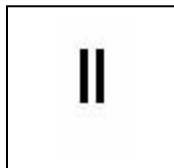


Figure 17 : Un symbole de ponctuation équivalent à la virgule,
tiré de (Sutton V. , 2002).

2.4.2.3 Les applications développées pour SW

Depuis la création de SW, plusieurs applications ont été développées pour permettre l'édition et l'impression des signes écrits.

SignWriter Dos fut le premier éditeur pour le système d'écriture SW. Il a été développé en 1987 par Richard Gleaves (Sutton & Gleaves, 1995). Il permet de saisir les symboles par l'intermédiaire du clavier et d'un système de menus. SignWriter Dos utilise un format binaire permettant de sauvegarder le code de chaque symbole de base ainsi que ses coordonnées. D'autres versions de SignWriter pour Windows et Mac ont été développées par la suite. On cite à titre d'exemple, **SignWriter Suite** pour Windows et **SignWriter Tiger** développé en Java.

SignBank (SignBank Online Database) a été initialement développé en 1980 par Michael Ogawa. Le but était d'offrir aux utilisateurs de SW un dictionnaire de signes. En 1992, Todd Duell a repris SignBank, et avec Valerie Sutton, ils ont défini la norme SSS pour permettre de trier les dictionnaires de signes (Roald, 2004).

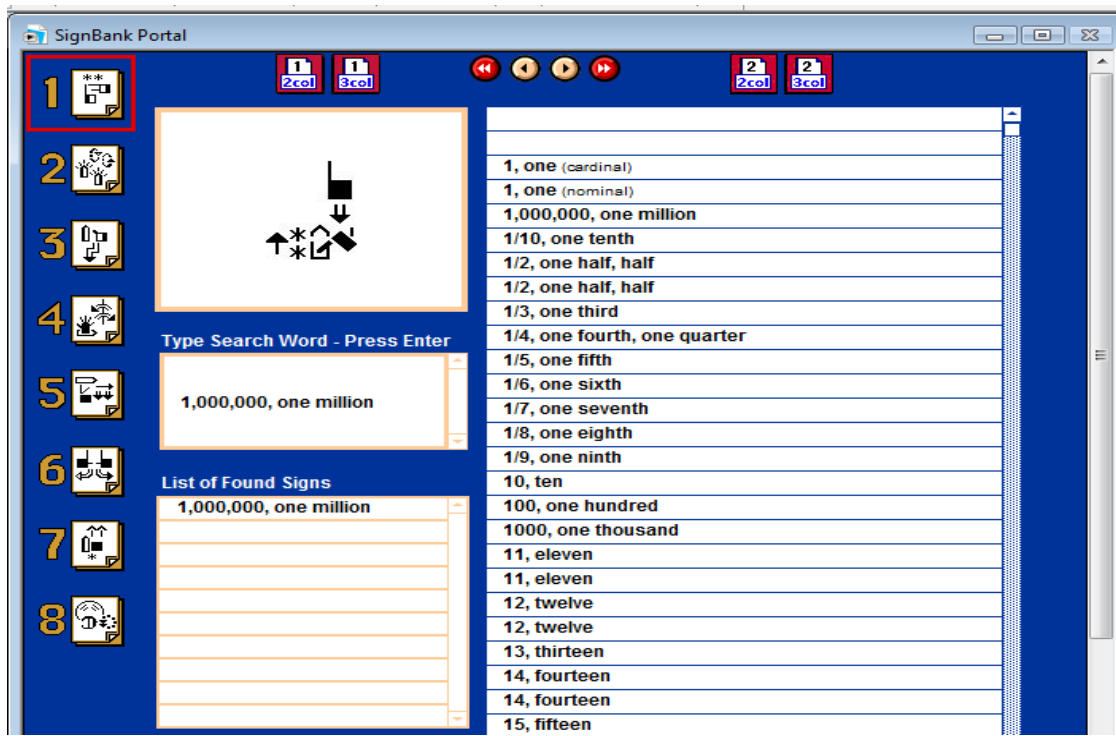


Figure 18 : Interface utilisateur du dictionnaire de signes SignBank.

Depuis 2004 à ce jour, Steve Slevinski a développé des logiciels pour permettre l'utilisation du système d'écriture SW sur internet. L'application en ligne **SignPuddle** (SignPuddle Online, 2004) a rendu possible la création de dictionnaires de signes ainsi que de la littérature écrite en SW.



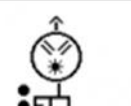















			<p>The three bears arrive home.</p> <p>They see someone has entered the house.</p> <p>"Who?"</p> <p>Don't know."</p> <p>The door is already open a crack.</p> <p>They push the door open and look around.</p>
			
			
			
			
			

Figure 19 : Un passage de « Goldilocks and the three bears » écrit en SW, tiré de (SignPuddle Online, 2004).

Actuellement, on retrouve sur SignPuddle des dictionnaires de signes de 80 pays. Nous pouvons ainsi constater que SW suscite de l'intérêt à travers le monde.

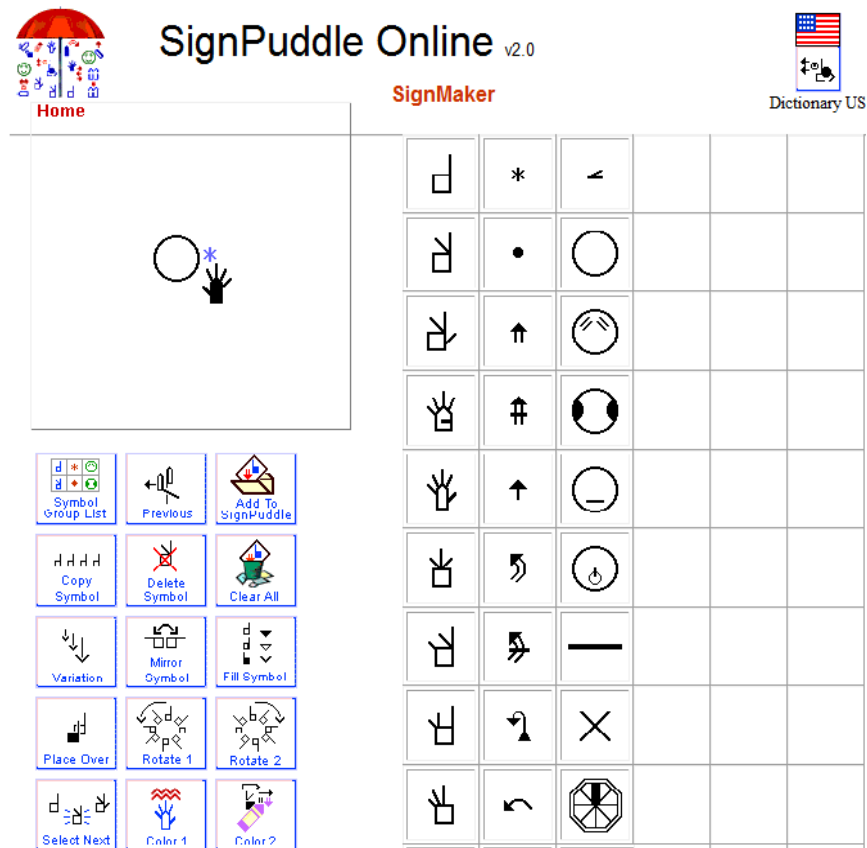


Figure 20 : Interface utilisateur de SignPuddle.

Plus récemment, on retrouve l'éditeur **SW-Edit** développé par Rafael Piccin Torchelsen, **Sign WebMessage** développé par Vinícius Costa de Souza pour envoyer des courriels en SW, le dictionnaire **DicionarioLibras** développé par Pedro Augusto Marques et l'éditeur SWift développé au sein du projet FIRB-VISEL (Bianchini, 2012).

2.4.2.4 Encodages existants de SW

Plusieurs encodages ont été proposés pour le système SW :

Le logiciel SignWriter utilise un encodage binaire incompatible avec tout autre encodage.

L'éditeur SW-Edit (Da Rocha & Dimuro, 2003) utilise l'encodage en attributs SWML (SignWriting Markup Language) (Da Rocha & Dimuro, 2001-a). Pour un signe donné, l'ensemble des symboles le composant ainsi que leurs positions dans le repère orthonormé de la cellule sont encodés dans une notation XML. Les symboles sont notés selon la norme SSS (Da Rocha & Dimuro, 2001-b).

```

<?xml version="1.0"?>
<swml version="1.0" file-type="text" xmlns="http://www.ucpel.tche.br/2002/05/swml"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.ucpel.tche.br/2002/05/swml
http://swml.ucpel.tche.br/schemas/swml/2002/05/swml.xsd">
  <generator>
    <name>SW-Edit</name>
    <version>1.1</version>
  </generator>
  <signbox>
    <symb x="46" y="73" >
      <category>01</category>
      <group>01</group>
      <symbnum>001</symbnum>
      <variation>01</variation>
      <fill>01</fill>
      <rotation>01</rotation>
    </symb>
    <symb x="48" y="32" >
      <category>03</category>
      <group>02</group>
      <symbnum>001</symbnum>
      <variation>01</variation>
      <fill>01</fill>
      <rotation>01</rotation>
    </symb>
  </signbox>
</swml>

```

Figure 21 : Encodage SWML.

SignPuddle a au départ repris l'encodage SWML pour noter les signes, avant d'adopter un encodage binaire BSW (Binary Sign Writing). BSW (Slevinski, 2007) définit un répertoire de caractères imprimables et non imprimables. Les caractères imprimables représentent les symboles de base de SW. Les caractères non imprimables permettent de coder les orientations et les remplissages de ces derniers. Ils permettent

aussi de coder les positions des symboles dans la cellule ainsi que d'autres marqueurs du signe.

2.4.2.5 Travaux de recherche sur SW

Différentes équipes de recherche se sont intéressées au système d'écriture SW.

(Da Rocha, Dimuro, & De Freitas, 2004) se sont intéressés au problème de la recherche de signes dans des textes écrits en SW. Ils ont défini une relation de similarité basée sur la comparaison des distances absolues entre les positions des différents symboles constituant deux signes. Ainsi, deux signes sont similaires, si et seulement si, ils sont composés du même ensemble de symboles et, si et seulement si chaque symbole est positionné à peu près au même endroit. Le déplacement horizontal ainsi que le déplacement vertical admis pour un symbole sont des paramètres introduits par l'utilisateur.

La solution proposée ici présente deux inconvénients majeurs. D'abord, elle ne permet pas de tenir compte des spécificités de SW et de ses règles d'écriture des signes. Aussi, l'utilisation de la distance absolue à la place de la distance relative entre les symboles constitue une autre limite importante.

De leur côté, (Aerts, Braem, Van Mulders, & De Weerd, 2004) proposent une recherche de signes écrits en SW par rapport aux symboles de configuration manuelle et de contact sans tenir compte de leurs dispositions dans le signe, ni tenir compte des autres symboles composant le signe recherché, comme les symboles de mouvement, d'expressions faciales ou autres.

Dans (Aznar, 2008) l'objectif était de proposer un encodage Unicode des signes SW. Dans cette thèse de doctorat, deux types de variations dans l'écriture des signes en SW ont été identifiés : La variabilité intra-personnelle et la variabilité interpersonnelle. La variabilité intra-personnelle correspond aux différentes façons d'écrire un même signe par différentes personnes. En effet, un même signe peut être écrit de différentes manières selon la notation adoptée et les symboles choisis par conséquent. La variabilité interpersonnelle correspond aux variations introduites par la même personne, à chaque

itération d'écriture d'une variante donnée d'un signe, à cause de l'imprécision qu'introduit une manipulation manuelle (Aznar & Dalle, 2005).

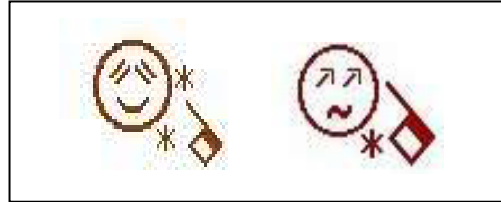


Figure 22 : Signe Sourd en LSF - Variabilité intra-personnelle -,
Tiré de (Aznar, 2008)

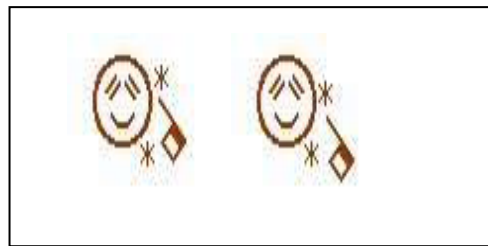


Figure 23 : Signe Sourd en LSF - Variabilité interpersonnelle -,
Tiré de (Aznar, 2008)

Cette variabilité constitue le principal obstacle face à l'informatisation du système d'écriture SW à cause du grand nombre de représentations qui existent pour un même signe écrit en SW.

Cette thèse de doctorat a permis de démontrer que la recherche de signes SW dans des documents ou dans des dictionnaires est un problème de recherche à part entière et qu'une solution logicielle robuste devra être proposée pour le résoudre.

(Papadogiorgaki et al., 2006) ont développé un signeur virtuel qui génère des séquences d'animation VRML à partir de signes écrits en SignWriting. Au départ, le signe est converti à SWML, puis, par la suite, en une séquence de paramètres d'animation du corps selon le standard MPEG-4. De plus si le geste contient des expressions faciales, elles sont converties

en une séquence de paramètres d'animation faciale tout en s'assurant de la synchronisation entre les expressions faciales et les mouvements du corps.

Plus récemment, (Bouزيد & Jemni, 2014) ont également développé un signeur virtuel qui à partir d'une représentation du signe SW en format de fichier XML, produit l'animation correspondante. L'objectif dans les deux travaux précédents est de développer un outil qui aide les sourds à apprendre à lire et à écrire dans leur première langue.

Cependant, à cause du fait que SW est un système de notation, il n'existe pas une procédure qui permet d'extraire les étapes de la production du signe uniquement à partir de son écriture en SW. Ainsi, l'étape de génération de l'animation à partir d'une représentation du signe SW en XML n'est pas possible pour tous les signes SW.

2.5 Conclusion

La popularité du système d'écriture SW dans la communauté des sourds a été la raison derrière l'intérêt qu'on lui porte aujourd'hui. Cependant, la résolution du problème des variabilités constitue une étape indispensable pour permettre de réellement tirer profit de la convivialité de SW et de l'utiliser dans des applications informatiques de grande utilité pour la communauté des sourds. Par exemple, la recherche d'un signe particulier dans un texte écrit en SW, les corrections orthographiques des signes ou la recherche dans un dictionnaire de signes, sont toutes des applications utiles. Une autre application particulièrement utile est la traduction automatique des signes SW en langues orales. Une telle application participera directement à l'amélioration de la qualité de vie des sourds en les aidant à franchir l'obstacle de communication auquel ils font face quotidiennement. Toutefois, dans l'état actuel des choses, et à cause du problème des variabilités présenté précédemment, il n'est pas possible de développer de tels outils.

En somme, on dira que le problème d'identification des signes écrits en SW est un problème de recherche dont la résolution offrira une voie prometteuse à ce système d'écriture.

Un signe écrit en SW peut être assimilé à une image symbolique, c'est-à-dire une image dans laquelle les objets d'intérêt ont été identifiés préalablement. Plusieurs travaux de recherches se sont intéressés au problème de la représentation des relations spatiales dans les images symboliques. Le chapitre suivant présente un état de l'art dans ce domaine.

Chapitre 3

État de l'art sur la représentation des relations spatiales dans les images symboliques

Dans ce mémoire, il s'agit de modéliser les relations spatiales entre les symboles constituant les signes écrits en SignWriting. Un signe écrit en SW peut être assimilé à une image symbolique. Ce chapitre présente un état de l'art sur les modèles de représentation des relations spatiales dans les images symboliques.

3.1 Introduction

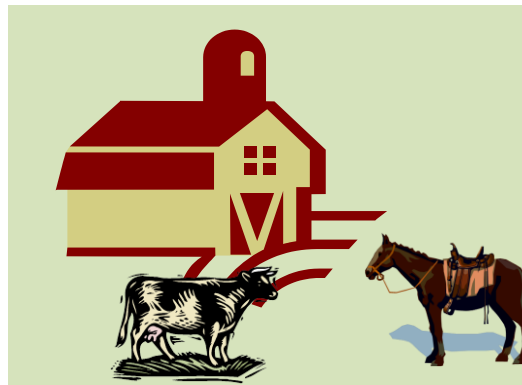
La recherche d'images par le contenu (*Content-Based Image Retrieval*) permet de rechercher des images d'une base de données sur la base de diverses caractéristiques visuelles de bas-niveau (niveau pixel). Dans le but d'enrichir ces caractéristiques par une sémantique forte, d'autres méthodes de description d'images ont été proposées. Parmi lesquelles, celles permettant de décrire les relations spatiales dans les images symboliques. Une image symbolique, en anglais, *pictorial image*, est une image dans laquelle les objets d'intérêt ont été identifiés préalablement. Ces objets sont donc représentés par des symboles ou étiquettes de niveau logique. (Chang, Shi, & Yan, 1987) ont été les premiers à avoir proposé un modèle de représentation pour décrire les relations spatiales dans les images symboliques. D'autres approches ont été proposées par la suite dans le but de fournir des solutions efficaces au problème de recherche d'images

similaires dans une base de données d'images symboliques. Ce chapitre présente les principaux modèles de représentation des relations spatiales dans les images symboliques rencontrés dans la littérature.

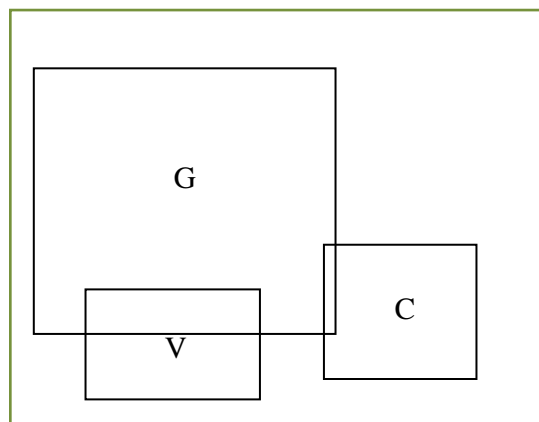
3.2 Représentation symbolique d'une image

Une image symbolique est représentée par un ensemble de symboles dénotant chaque objet d'intérêt identifié dans l'image d'origine auquel un modèle de représentation est appliqué. Dans la littérature, on retrouve différents modèles de représentation. Un symbole peut être représenté par le centre de masse de l'objet ou par le rectangle englobant minimal de l'objet, noté REM.

Bien que ces abstractions introduisent une perte d'information plus ou moins grande, elles présentent des avantages en coût de stockage et de traitement.



(a)



(b)

Figure 24 : Une image exemple (a) et sa représentation symbolique en REM (b).

3.3 Les relations spatiales dans les images symboliques

Les approches de représentation des relations spatiales utilisent différents modèles de relations spatiales de façon séparée ou combinée. Parmi ces modèles, nous distinguons les projections symboliques, les relations directionnelles et les relations topologiques.

Les projections symboliques utilisent des opérateurs spatiaux 1D pour décrire les relations spatiales entre intervalles obtenus par la projection des objets de l'image sur les axes x et y du repère image.

Les relations directionnelles permettent de décrire la relation entre un objet de référence et un autre objet selon neuf directions dans l'espace 2D.

(Chang C. , 1991) représente les objets par leur centre de masse alors que (Huang & Lee, 2004) utilisent le prolongement du REM de l'objet de référence pour diviser l'espace en neuf zones.

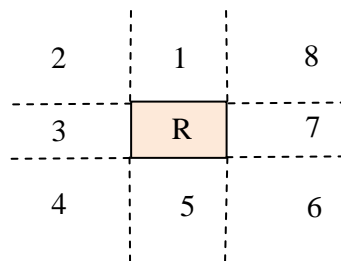


Figure 25 : Codage des 9 relations directionnelles (Huang & Lee, 2004).

Les relations topologiques indiquent la manière avec laquelle deux régions interagissent. (Egenhofer & Franzosa, 1991) ont défini 8 relations topologiques exclusives : *disjoint*, *touch (meet)*, *inside*, *contains*, *overlap*, *covers*, *covered-by* et *equal*. Elles sont illustrées dans la Figure 26.

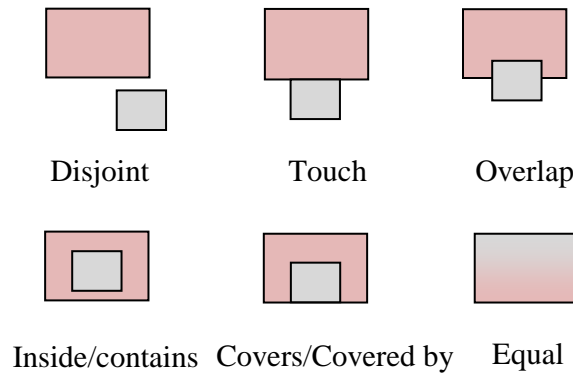


Figure 26 : Les huit relations topologiques fondamentales.

3.4 La recherche d'images similaires

On rencontre dans la littérature différentes façons d'interroger une base de données d'images. Plus souvent, on retrouve la recherche par similarité à partir d'une image exemple. Dans ce type de recherche, une image symbolique est donnée en entrée et les images similaires en termes de relations spatiales sont extraites. La recherche est exacte si les images extraites contiennent tous les objets de l'image exemple. Par contre, si la recherche permet de retourner des sous-images ou des sur-images, la recherche est dite partielle.

Une requête peut être également formulée en considérant un ou plusieurs objets d'intérêt et les relations spatiales entre eux. Les images recherchées sont celles qui vérifient cette requête.

Différentes mesures de similarité entre les relations spatiales existent et dépendent de l'approche de description choisie.

3.5 Modèles de représentation des relations spatiales

3.5.1 Représentation sous forme de chaînes de caractères

Dans ce type de représentation, on écrit les relations spatiales, c'est-à-dire les symboles des images ainsi que les opérateurs spatiaux, sous forme de chaînes de caractères.

L'approche 2D-string, proposée par (Chang, Shi, & Yan, 1987), a été la première à avoir représenté les relations spatiales sous forme de chaînes de caractères.

Dans le modèle 2D-string, une grille est appliquée à l'image et les objets sont représentés par leurs centres de masse. Ensuite, la projection des centres de masse sur les axes x et y du repère image est effectuée. Sur chaque axe, les relations spatiales 1D entre les projections des centres de masse consécutifs sont calculées. Pour cela, trois opérateurs sont utilisés : « < » pour décrire le lien spatial « à gauche de » ou « au dessus de », « = » pour le lien spatial « dans le même niveau » et « : » pour représenter le lien spatial « Dans la même cellule ».

A			
			E
	F		
B C		D	

Figure 27 : Représentation symbolique par grille d'une image.

Dans l'exemple de la Figure 27, les objets d'intérêt de l'image d'origine sont représentés par leurs centres de masses. L'image est représentée par la chaîne 2D-string suivante :

$$(B : C = A < F < D < E, A < E < F < B : C = D)$$

L'approche 2D-string a été reprise par d'autres approches dans le but d'améliorer le temps de recherche ou d'enrichir les opérateurs spatiaux pour permettre une représentation plus complète des relations spatiales.

Dans l'approche 2D C-string (Lee & Hsu, 1990), les auteurs ont défini 7 opérateurs 1D pour décrire des relations spatiales similaires à celles utilisées dans le formalisme rigoureux de Allen (Allen, 1983) pour les relations entre intervalles temporels. Avec leurs symétries, ces opérateurs spatiaux permettent d'identifier 169 relations spatiales.

Tableau 3 : Les sept opérateurs spatiaux 1D de 2D C-string.

Opérateur	Définition	Signification
A<B	$Fin(A) < Début(B)$	A et B sont disjoints
A=B	$Début(A)=Début(B)$ et $Fin(A)= Fin(B)$	A et B sont identiques
A B	$Fin(A)=Début(B)$	A et B sont jointifs
A%	$Début(A) < Début(B)$ et $Fin(A) > Fin(B)$	A contient B
A/B	$Début(A) < Début(B) < Fin(A) < Fin(B)$	A et B se chevauchent
A[B	$Début(A) = Début(B)$ et $Fin(A) > Fin(B)$	A contient B et bornes inf. coïncident
A]B	$Début(A) < Début(B)$ et $Fin(A) = Fin(B)$	A contient B et bornes sup. coïncident

Par la suite, l'approche 2D C^+ -string, proposée par Huang et Jean (1994), a permis d'affiner la représentation des relations spatiales par l'ajout d'une métrique associée aux objets et aux relations spatiales. Ces informations supplémentaires ont rendu possible des recherches par similarité plus nuancées.

Les approches de description par chaînes de caractères effectuent les recherches par similarité en calculant la plus longue sous-séquence commune (LCS pour Longest Common Subsequence) entre les représentations des deux images.

3.5.2 Représentation sous forme d'arbre

L'arbre binaire équilibré est une représentation basée sur une division récursive de l'espace. À chaque itération, l'espace est divisé en deux sous-espaces, selon l'axe des x ou l'axe des y . Ce procédé est poursuivi jusqu'à ce que chaque sous-espace ne contienne qu'un seul objet, au complet ou en partie.

On retrouve cette représentation de l'espace dans Li et Qu (1998) et Chang et Lee (1998a). Dans Chang et Lee (1998a) le découpage de l'image se fait en parties de tailles égales.

3.5.3 Représentation sous forme de liste de n-uplets

Dans ces approches, les images sont représentées par des triplets (O_i, O_j, R_{ij}) . O_i et O_j sont deux objets de l'image et R_{ij} correspond à la relation spatiale entre eux. Ainsi, une image contenant N objets est représentée par $\frac{N \times (N-1)}{2}$ triplets. En général, ces approches indexent les triplets par des fonctions de hachage (Chang & Lee, 1991).

3.5.4 Représentation sous forme matricielle

Plusieurs approches représentent les relations spatiales des objets d'une image avec une matrice carrée de taille N , N étant le nombre d'objets dans l'image. Le choix d'une telle représentation matricielle est justifié par l'utilisation d'un codage judicieux de la matrice afin d'obtenir un coût de stockage minimum tout en facilitant la comparaison entre deux matrices par des opérations simples. Les relations décrites par ces approches sont les relations directionnelles ou les relations spatiales par projections symboliques (Chang C. , 1991).

3.5.5 Représentation par des fichiers de signatures

Dans le but de faciliter la recherche par similarité, plusieurs approches représentent les images symboliques par des fichiers de signatures. Une signature correspond à une chaîne binaire de taille fixe. Elle est produite par l'application d'une fonction de hachage sur une valeur. Une comparaison de signatures est de complexité $O(1)$ puisqu'il s'agit d'une opération sur des bits. (Lee et al., 1992) sont parmi les premiers travaux qui utilisent les fichiers de signature pour indexer les images symboliques.

3.6 Conclusion

Il n'existe pas de base d'évaluation communément répandue pour évaluer les approches de représentation des relations spatiales précédentes et décider lesquelles conviendraient le plus à la représentation des relations spatiales entre les symboles constituant un signe écrit avec le système d'écriture SW. Par conséquent, l'approche 2D-string a été choisie à cause du nombre de variantes et d'extensions de cette dernière rencontré dans la littérature, ce qui pourrait faciliter les futures améliorations de ce travail.

Chapitre 4

Méthodologie

4.1 Introduction

Dans le système d'écriture des signes SW, l'identification des signes s'appuie sur la capacité d'interprétation naturelle de l'être humain. Toutefois, pour l'ordinateur, les variabilités introduites lors de l'écriture d'une variante donnée d'un signe constituent un problème qui empêche cette même identification.

Les solutions proposées à ce problème de variabilité ne tiennent pas compte de deux aspects importants caractérisant SW : les relations spatiales d'un côté, et les relations d'association, de l'autre. Ces deux types de relations permettent de définir un signe et sont donc essentiels à sa représentation.

Ce chapitre présente une contribution à la résolution du problème de recherche des signes SW en vue de leur identification. Un modèle de représentation des relations spatiales et d'association pour le système d'écriture des signes SW est proposé. Ce modèle se base sur le modèle de représentation des relations spatiales 2D-string.

4.2 Approche proposée

Pour construire un modèle représentant efficacement un signe écrit en SW, il faut commencer par déterminer le type d'informations que ce modèle devra préserver afin que la recherche par similarité soit en mesure de fournir de bons résultats. Ainsi, la question qui se pose est : de quel type d'informations a-t-on besoin pour affirmer que deux signes sont similaires ?

Comme vu précédemment, un signe écrit en SW est un ensemble complexe de symboles regroupés et disposés spatialement au sein d'un espace bidimensionnel nommé cellule. Cette disposition spatiale des symboles est analogique et le positionnement d'un symbole se fait par rapport aux autres symboles.

« Ce positionnement bidimensionnel des symboles sert à représenter l'aspect visuel de la scène, notamment par le positionnement respectif des segments corporels les uns par rapport aux autres, ainsi que leurs mouvements et leurs interactions » (Aznar, 2008).

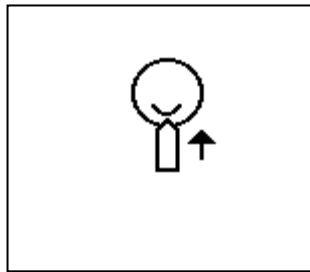


Figure 28 : Le signe « Bonjour » en LSF écrit en SW.

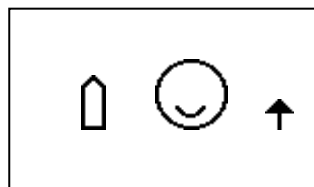


Figure 29 : Décomposition du signe « Bonjour » en symboles SW.

La liste des symboles constituant un signe est importante mais n'est pas suffisante pour définir un signe. La disposition des symboles qui représentent des segments corporels et la distance qui les sépare, sont aussi des facteurs importants. Par ailleurs, les

positions des symboles représentant les mouvements et les symboles dynamiques permettent de les associer à un ou plusieurs segments corporels. Il s'agit dans ce cas, des relations d'association entre le symbole de mouvement ou le symbole dynamique et un ou plusieurs symboles représentant les segments corporels en l'occurrence les symboles de configuration manuelle. Ces relations se basent sur la proximité.

Dans ce qui suit est décrit le modèle SW-string basé sur le modèle de représentation des relations spatiales 2D-string. SW-string permet de préserver les liens spatiaux et d'association entre les symboles d'un signe écrit en SW.

4.3 Le modèle SW-string

Le modèle SW-string se base sur le modèle 2D-string qu'il enrichit avec des opérateurs spatiaux ainsi qu'avec les distances relatives entre les différents symboles constituant les signes.

Ce modèle permet le raisonnement sur les opérateurs spatiaux et les distances relatives entre les différents symboles constituant un signe.

4.3.1 Définition de SW-string

Soit **Sc** un ensemble de symboles SW représentant les segments corporels, **Mvt** un ensemble de symboles représentant les mouvements ainsi que les symboles dynamiques et **Op** un ensemble d'opérateurs spatiaux 1D.

Une chaîne de caractères SW-string sur **Symb** = Sc ∪ Mvt est définie telle que :

$$(u,v,mvt) = (s_1 r_1^x d_1^x s_2 r_2^x d_2^x \dots r_{n-1}^x d_{n-1}^x s_n r_n^x d_n^x M_1 r_{n+1}^x d_{n+1}^x M_2 \dots r_{n+k-1}^x d_{n+k-1}^x M_k, \\ s_1 r_1^y d_1^y s_2 r_2^y d_2^y \dots r_{n-1}^y d_{n-1}^y s_n r_n^y d_n^y M_1 r_{n+1}^y d_{n+1}^y M_2 \dots r_{n+k-1}^y d_{n+k-1}^y M_k, \\ M_1 S_j \dots S_h; \dots; M_k S_l \dots S_m;)$$

où $S_i \in \mathbf{Sc}$, $1 \leq i \leq n$, $M_i \in \mathbf{Mvt}$, $1 \leq i \leq k$, r_i^x et $r_i^y \in \mathbf{Op}$, $1 \leq i \leq n+k-1$ et d_i^x et d_i^y ,

$1 \leq i \leq n+k-1$, sont les distances relatives en pixels, respectivement, sur l'axe des x et l'axe des y, entre les différents symboles S_i et $M_i \in \mathbf{Symb}$.

Les symboles S_i et M_i représentent la projection des différents symboles constituant l'image symbolique sur les axes x et y du repère image. Sur chaque axe, ce sont les relations entre intervalles obtenus qui sont décrites.

Les quatre opérateurs spatiaux utilisés par SW-string sont décrits dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Les quatre opérateurs spatiaux 1D de SW-string.




Opérateur	Définition	Signification
$A < B$	$Fin(A) < Début(B)$	A et B sont disjoints
$A B$	$Fin(A) = Début(B)$	A et B sont jointifs
$A \% B$	$Début(A) < Début(B) < Fin(B) < Fin(A)$	A contient B
A / B	$Début(A) < Début(B) < Fin(A) < Fin(B)$	A et B se chevauchent

Les 4 opérateurs symétriques sont notés " $<*$ ", " $|*$ ", " $\%*$ " et " $/*$ ".

Ces opérateurs spatiaux ont été choisis afin de permettre une description sémantique complète des relations spatiales pouvant exister entre les différents symboles représentant les segments corporels d'un signe écrit en SW. Ils permettent de caractériser $8 \times 8 = 64$ relations spatiales.

L'exemple de la Figure 28 précédente sera représenté par la chaîne (u,v,mvt) suivante :

$$(A \%_{10} B /_{30} C, A /_{27} B <_4 C)$$

Où A, B et C représentent respectivement les symboles ,  et .

4.3.2 Algorithme de génération de SW-string

Dans ce qui suit, nous allons décrire l'algorithme qui permet de générer la chaîne SW-string à partir de l'image symbolique représentant le signe. En effet, chaque symbole A est décrit par un code unique (norme SSS) suivi par les coordonnées cartésiennes x et y du point supérieur gauche de son plus petit rectangle circonscrit REM. L'origine du repère est le point supérieur gauche de la cellule qui contient le signe. De même, l_a et h_a

dénotent la longueur en pixels de l'intervalle de projection du symbole A sur respectivement, l'axe des x et l'axe des y.

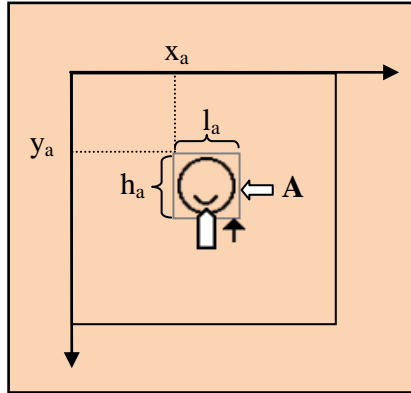


Figure 30 : Coordonnées cartésiennes d'un symbole SW dans la cellule.

Ainsi, pour le symbole A de la Figure 28 : $x_a=40$, $y_a=20$, $l_a=35$ et $h_a=36$. A est décrit par le 4-uplet (40, 20, 35, 36).

Soit deux symboles, $A(x_a, y_a, l_a, h_a)$ et $B(x_b, y_b, l_b, h_b)$. La formulation des relations spatiales entre A et B, selon l'axe des x, est décrite dans l'arbre de décision de la Figure 31.

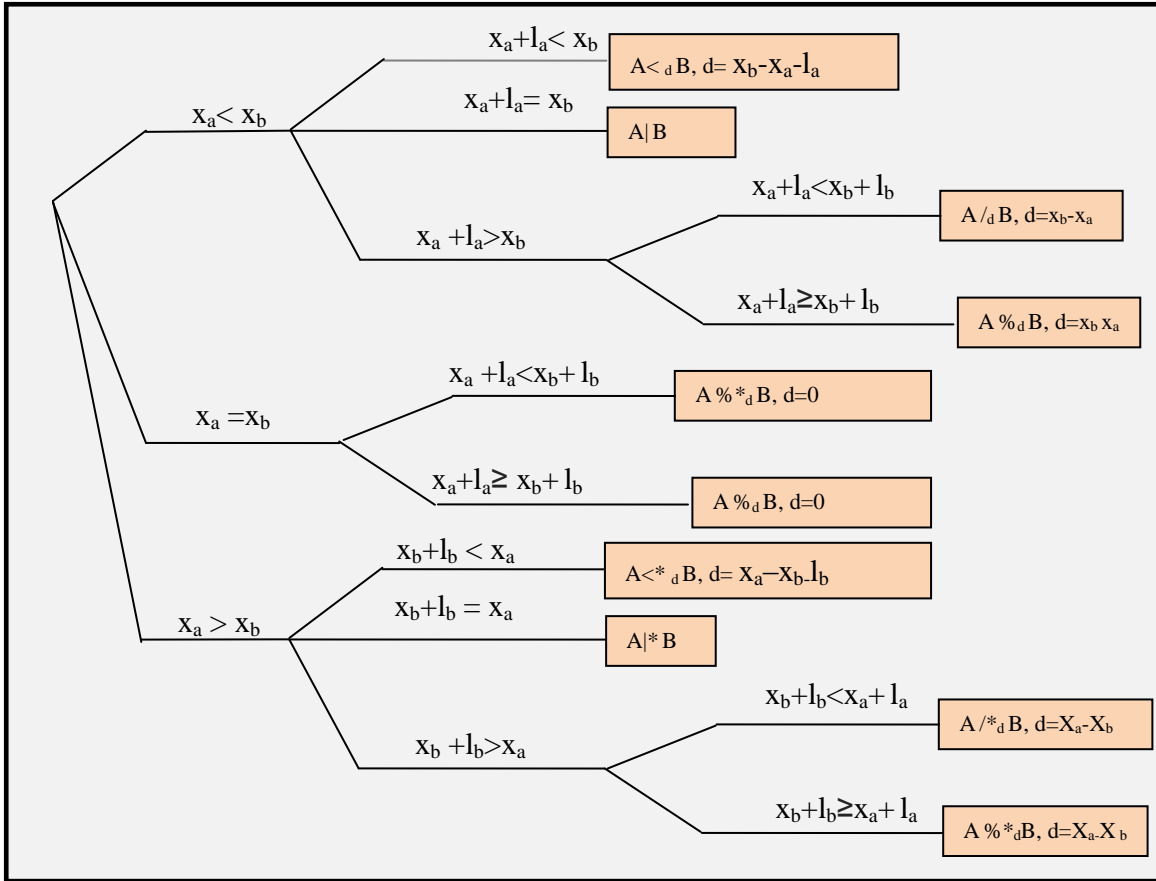


Figure 31 : Formulation des relations spatiales à partir des coordonnées cartésiennes.

Soit :

Sc l'ensemble de symboles SW représentant les segments corporels,

Mvt l'ensemble des symboles représentant les mouvements,

Op l'ensemble des opérateurs spatiaux 1D.

$S_i \in \text{Symb} = \text{Sc} \cup \text{Mvt}$,

Chaque $S_i, 1 \leq i \leq n$, est décrit par un 4-uplet (x_i, y_i, l_i, h_i) .

Algorithme de génération de sw-string




Entrées : $S_1(x_1, y_1, l_1, h_1), S_2(x_2, y_2, l_2, h_2), \dots, S_n(x_n, y_n, l_n, h_n)$

Sortie : une chaîne SW-string (u,v,mvt)

1. Trier par ordre croissant (norme SSS) tous les symboles S_i représentant les segments corporels et construire ainsi la Chaîne1;
2. Trier par ordre croissant (norme SSS) tous les symboles M_i représentant les symboles de mouvement et dynamiques et construire ainsi la Chaîne2;
3. Construire **Chaîne** en concaténant **Chaîne1** et **Chaîne2**;
4. Initialiser les chaînes u et v avec le premier symbole de **Chaîne** : S'_1 ;
5. Pour chaque symbole S'_i appartenant à **Chaîne**, $1 \leq i \leq n$, faire
 - a. Déterminer la relation spatiale R_i^x , selon l'axe des x, entre S'_i et S'_{i+1} (selon l'arbre de décision de la Figure 31);
 - b. Déterminer la relation spatiale R_i^y , selon l'axe des y, entre S'_i et S'_{i+1} (selon l'arbre de décision de la Figure 31);
 - c. Concaténer la chaîne u avec $R_i^x S'_{i+1}$;
 - d. Concaténer la chaîne v avec $R_i^y S'_{i+1}$;
6. Pour chaque symbole de mouvement et symbole dynamique M appartenant à Chaîne 2 faire
 - Concaténer la chaîne Mvt avec le symbole M;
 - Pour chaque symbole de segment corporel S appartenant à Chaîne1 faire
 - Si (*M est un symbole de contact*)
 - OU** ((M est un symbole de mouvement de la main **ou** un symbole dynamique) **ET** S est un symbole de main)) alors
 - a. Déterminer les relations spatiales R^x et R^y entre M et S selon la Figure 31;
 - b. Si (M est à proximité de S) alors concaténer Mvt avec S;

La relation de proximité entre M et S est définie telle que les intervalles de projection des REM des deux symboles ne soient pas distants de plus d'une valeur égale à un seuil seuil_1 ¹.

Nous allons dans ce qui suit reprendre l'exemple de la Figure 28 et dérouler l'algorithme de génération de SW-string précédent.

A, B et C représentent respectivement les symboles ,  et .

Ils sont décrits par les 4-uplets suivants :

A(50, 47, 15, 30), B(40, 20, 35, 36) et C(70, 60, 14, 15).

Sc={A, B}.

Mvt={C} .

Symb=**Sc** ∪ **Mvt**={A, B, C}.

Op= {<, |, %, /, <*, |*, %*, /*}.

La génération de la chaîne SW-string se déroule selon les étapes suivantes :

1. Construire la **Chaîne1** composée des symboles SW représentant des segments corporels triés par ordre croissant selon la norme SSS. Ainsi, **Chaîne1**= AB.
2. Construire la **Chaîne2** composée des symboles SW représentant les mouvements triés par ordre croissant selon la norme SSS. Ainsi, **Chaîne2**= C.
3. Concaténer **Chaîne1** et **Chaîne2** : **Chaîne** = ABC, n=3.
4. Initialiser u et v : u=A v=A.
5. Déterminer les relations spatiales entre les éléments consécutifs de **Chaîne** selon les règles de la Figure 31, selon l'axe des x puis l'axe des y. À la fin de cette étape, nous obtenons :

$$(u,v) = (A \%_{10} B /_{30} C, A /*_{27} B <_4 C)$$

6. Initialiser Mvt=C.

¹ Seuil₁ prend une valeur absolue entrée par l'utilisateur.

C n'est pas un symbole de contact. C'est un symbole de mouvement qui ne peut être associé qu'à des segments corporels représentant les différentes configurations manuelles. Donc, la détermination des relations spatiales se fait uniquement entre C et A et non entre C et B. Le symbole de mouvement C est à proximité du symbole de main A, d'où $Mvt=CA$.

À la fin, l'algorithme de génération de SW-string délivre la chaîne :

$$(u,v,mvt)=(A \%_{10} * B /_{30} C, A /_{27} * B <_4 C, CA)$$

4.3.3 Algorithme de reconstruction du signe

Dans cette partie, nous présentons l'algorithme de reconstruction de l'image symbolique, c'est-à-dire le signe, à partir de la chaîne SW-string.

Pour cela, nous avons besoin des deux sous-chaînes de SW-string u et v :

$$(u,v)=(S_1 r_1^x d_1^x S_2 \dots r_{n-1}^x d_{n-1}^x S_n, S_1 r_1^y d_1^y S_2 r_2^y d_2^y \dots r_{n-1}^y d_{n-1}^y S_n)$$

où S_i sont les symboles SW, $1 \leq i \leq n$. r_i^x et r_i^y sont les opérateurs spatiaux, $1 \leq i < n$. d_i^x et d_i^y , $1 \leq i < n$ sont les distances relatives en pixels, entre les différents symboles S_i , respectivement sur l'axe des x et l'axe des y. l_i et h_i dénotent la taille en pixels de la projection du symbole S_i sur respectivement l'axe des x et l'axe des y.

x_i et y_i sont les coordonnées cartésiennes de S_i . x_i et $y_i \in \mathbf{N}$.

Algorithme de reconstruction du signe

Entrées : La sous chaîne $(u,v)=(S_1 r_1^x d_1^x S_2 \dots r_{n-1}^x d_{n-1}^x S_n, S_1 r_1^y d_1^y S_2 r_2^y d_2^y \dots r_{n-1}^y d_{n-1}^y S_n)$
et $S_1(l_1, h_1), S_2(l_2, h_2), \dots, S_n(l_n, h_n)$

Sorties : $S_1(x_1, y_1), S_2(x_2, y_2), \dots, S_n(x_n, y_n)$

1. Initialiser $x_1=0$ et $y_1=0$ (coordonnées de S_1);
2. Pour chaque symbole S_i , $i=2$ à n faire
 - a. Calculer x_i à partir de $r_{i-1}^x, x_{i-1}, l_{i-1}$ et/ou d_{i-1}^x .
 - Si $(r_{i-1}^x \text{ est égale à } <)$ alors $x_i=x_{i-1}+l_{i-1}+d_{i-1}^x$;
 - Si $(r_{i-1}^x \text{ est égale à } |)$ alors $x_i=x_{i-1}+l_{i-1}$;
 - Si $(r_{i-1}^x \text{ est égale à } / \text{ ou à } \%)$ alors $x_i=x_{i-1}+d_{i-1}^x$;
 - Si $(r_{i-1}^x \text{ est égale à } < *)$ alors $x_i=x_{i-1}-l_{i-1}-d_{i-1}^x$;
 - Si $(r_{i-1}^x \text{ est égale à } | *)$ alors $x_i=x_{i-1}-l_{i-1}$;
 - Si $(r_{i-1}^x \text{ est égale à } /* \text{ ou à } \% *)$ alors $x_i=x_{i-1}-d_{i-1}^x$;
 - b. Calculer y_i à partir de $r_{i-1}^y, y_{i-1}, h_{i-1}$ et/ou d_{i-1}^y .
 - Si $(r_{i-1}^y \text{ est égale à } <)$ alors $y_i=y_{i-1}+h_{i-1}+d_{i-1}^y$;
 - Si $(r_{i-1}^y \text{ est égale à } |)$ alors $y_i=y_{i-1}+h_{i-1}$;
 - Si $(r_{i-1}^y \text{ est égale à } / \text{ ou à } \%)$ alors $y_i=y_{i-1}+d_{i-1}^y$;
 - Si $(r_{i-1}^y \text{ est égale à } < *)$ alors $y_i=y_{i-1}-h_{i-1}-d_{i-1}^y$;
 - Si $(r_{i-1}^y \text{ est égale à } | *)$ alors $y_i=y_{i-1}-h_{i-1}$;
 - Si $(r_{i-1}^y \text{ est égale à } /* \text{ ou } \% *)$ alors $y_i=y_{i-1}-d_{i-1}^y$;

Pour la visualisation du signe, il suffit de centrer le signe par rapport au centre de la cellule en effectuant un changement de repère.

4.3.4 Recherche de signes par similarité

L'algorithme de comparaison d'images symboliques, dans notre cas de signes SW, doit permettre d'effectuer à partir d'une image exemple une recherche par similarité dans une base de données de signes. Un signe contenant différents symboles SW disposés dans un plan bidimensionnel est entré au système et les signes similaires en termes de symboles et de relations spatiales et d'association sont cherchés et retournés. La Figure 32 illustre l'architecture du système de recherche de signes SW.

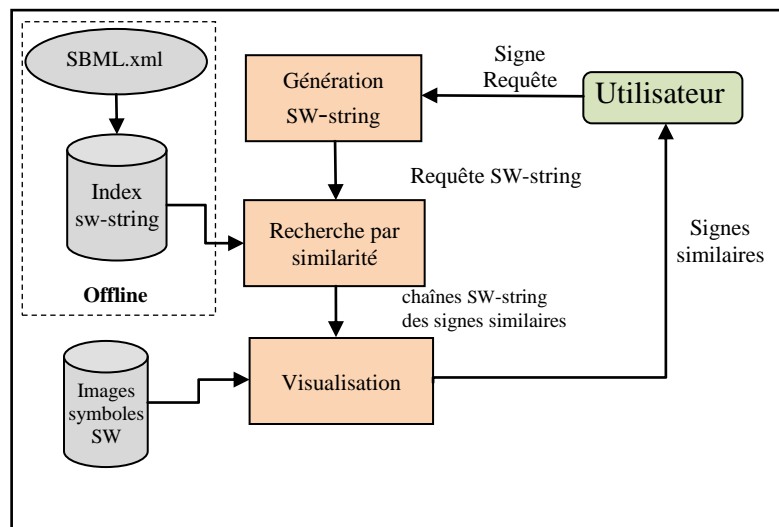


Figure 32 : Architecture du système de recherche de signes SW.

L'utilisateur du système introduit sa requête dans le but d'extraire les signes similaires. Il effectue ainsi une recherche exacte. L'image symbolique introduite est transformée en une chaîne SW-string par l'intermédiaire de l'algorithme de génération de SW-string proposé précédemment. Par la suite, la recherche des signes similaires permet, selon le type de similarité choisi, de comparer la requête SW-string aux chaînes SW-string du dictionnaire de signes. Une ou plusieurs chaînes SW-string sont obtenues et visualisées selon leur proximité de la requête. Une distance Euclidienne entre signes est utilisée à cet effet.

4.3.4.1 Niveaux de similarité

Les types de similarité trouvés dans la littérature ne permettent pas d'effectuer des recherches de signes nuancées spécifiques à SW. Pour cette raison, deux niveaux de similarité, pour les 8 relations spatiales décrites dans SW-string ont été définis.

Nous avons utilisé la notation suivante :

Soit S_1 et S_2 un couple de symboles SW, l_i et h_i dénotent la taille en pixels de la projection du symbole S_i par rapport, respectivement, à l'axe des x et à l'axe des y, $i \in \{1,2\}$.

Dans le premier signe, les relations spatiales entre les deux symboles s_1 et s_2 sont représentées par $s_1 r_1^x d_1^x s_2$ et $s_1 r_1^y d_1^y s_2$ tels que r_1^x et r_1^y sont les relations spatiales entre s_1 et s_2 respectivement par rapport à l'axe des x et à l'axe des y. De même, d_1^x et d_1^y sont les distances en pixels entre s_1 et s_2 respectivement par rapport à l'axe des x et à l'axe des y.

Aussi, soit $M_1 \in \mathbf{Mvt}$ un symbole représentant un mouvement. Et soit $s_j^{M_1} \in \mathbf{SC}$; $1 \leq j \leq k$, les symboles représentant les segments corporels qui se trouvent à proximité de M_1 . L'ensemble de tous les symboles $\in \mathbf{SC}$ à proximité de M_1 est noté \mathbf{SM}_1 .

De la même manière, dans le deuxième signe, les relations spatiales entre les deux symboles s_1 et s_2 sont représentées par $s_1 r_2^x d_2^x s_2$ et $s_1 r_2^y d_2^y s_2$ tels que r_2^x et r_2^y sont les relations spatiales entre s_1 et s_2 , respectivement, par rapport à l'axe des x et à l'axe des y. De même, d_2^x et d_2^y sont les distances en pixels entre s_1 et s_2 respectivement par rapport à l'axe des x et des y.

Aussi, soit $M_2 \in \mathbf{Mvt}$ un symbole représentant un mouvement. Et soit $s_j^{M_2} \in \mathbf{SC}$; $1 \leq j \leq l$, les symboles qui se trouvent à proximité de M_2 . L'ensemble de tous les symboles $s_j^{M_2} \in \mathbf{SC}$ se trouvant à proximité de M_2 est noté \mathbf{SM}_2 .

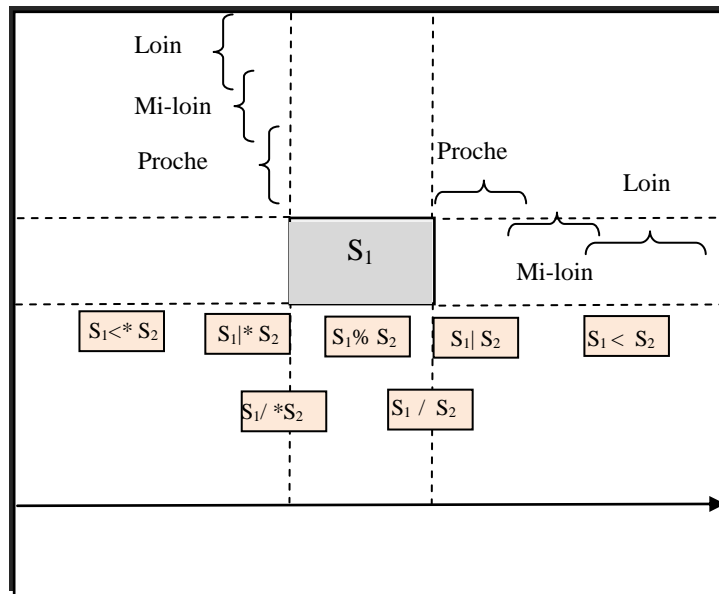


Figure 33 : Les relations spatiales 1D entre S1 et S2 (axe des x).

La distance entre deux symboles est donnée en pixels. Trois intervalles de proximité, sont définis : **Proche**, **Mi-loin** et **Loin**. Ces intervalles sont en pixels et se chevauchent. Les bornes inférieures et supérieures de ces intervalles sont entrées par l'utilisateur.

➤ **Similarité de niveau 1 :**

La similarité de niveau 1 permet d'effectuer une recherche de signes en prenant en considération les variabilités interpersonnelles ainsi que certaines variabilités intra-personnelles courantes dans l'écriture du signe particulièrement les déplacements des symboles de mouvement. En effet, pour le même signe, ces derniers peuvent être placés dans différentes positions à proximité des segments corporels les concernant. Dans ce travail, les variabilités intra-personnelles qui impliquent l'utilisation de symboles différents et/ou de dispositions très différentes de ces symboles pour décrire un même signe produisent des signes différents qui sont entrés dans le dictionnaire des signes.

Une recherche par similarité de niveau 1 permet de faire abstraction de la distance qui sépare les deux symboles impliqués dans les deux relations spatiales '<' ou '<*' comparées, car dans certains cas, cette distance n'est pas significative. Cependant,

certaines relations spatiales peuvent être considérées similaires à d'autres sous certaines conditions de proximité.

Nous reprenons la paire de symboles s_1 et s_2 précédemment définie avec s_1 et $s_2 \in \mathbf{SC}$, \mathbf{SC} étant l'ensemble des symboles représentant les segments corporels. Les relations spatiales entre les deux paires de symboles dans les deux signes ont une similitude de niveau 1 si et seulement si elles respectent les règles décrites dans le tableau suivant et ceci à la fois dans les sous-chaînes SW-string u et v :

Tableau 5 : Récapitulatif des règles de similitude de niveau 1 entre les relations spatiales.

Relation spatiale entre s_1 et s_2 (requête)	Relation spatiale entre s_1 et s_2 (signe comparé)
r_1 est égale à '<' et $d_1 > \text{seuil}_2^2$	r_2 est égale à '<'
r_1 est égale à '<' et $d_1 \leq \text{seuil}_2$	r_2 est égale à '<', ou r_2 est égale à ' ', ou r_2 est égale à '/' et $l_1 - d_2 \leq \text{seuil}_3^3$, ou r_2 est égale à '%*' et $l_1 + d_2 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à '%' et $l_1 - d_2 \leq \text{seuil}_3$
r_1 est égale à ' '	r_2 est égale à ' ' ou, r_2 est égale à '<' et $d_2 \leq \text{seuil}_2$, ou r_2 est égale à '/' et $l_1 - d_2 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à '%*' et $l_1 + d_2 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à '%' et $l_1 - d_2 \leq \text{seuil}_3$
r_1 est égale à '/'	r_2 est égale à '/' et $ d_1 - d_2 \leq \text{seuil}_4^4$, ou r_2 est égale à ' ' et $l_1 - d_1 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à '%' et $ d_1 - d_2 \leq \text{seuil}_4$, ou r_2 est égale à '%*' et $d_1 + d_2 \leq \text{seuil}_4$, ou r_2 est égale à '<' et $d_2 \leq \text{seuil}_2$, $l_1 - d_1 \leq \text{seuil}_3$
r_1 est égale à '%'	r_2 est égale à '%` et $ d_1 - d_2 \leq \text{seuil}_4$, ou r_2 est égale à '/' et $ d_2 - d_1 \leq \text{seuil}_4$, ou

² Seuil_2 prend une valeur absolue entrée par l'utilisateur.

³ Seuil_3 prend une valeur absolue entrée par l'utilisateur.

⁴ Seuil_4 prend une valeur relative à l_1 ou l_2 (h_1 ou h_2).

	r_2 est égale à `/*` et $d_1 + d_2 \leq \text{seuil}_4$, ou r_2 est égale à ` ` et $l_1 - d_1 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à ` *` et $l_2 + d_1 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à `<` et $d_2 \leq \text{seuil}_2, l_1 - d_1 \leq \text{seuil}_3$, r_2 est égale à `<*` et $l_2 + d_1 \leq \text{seuil}_3$ et $d_2 \leq \text{seuil}_2$
r_1 est égale à `<*` et $d_1 > \text{seuil}_2$	r_2 est égale à `<*`
r_1 est égale à `<*` et $d_1 < \text{seuil}_2$	r_2 est égale à `<*`, ou r_2 est égale à ` *`, ou r_2 est égale à `/*` et $l_2 - d_2 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à `%*` et $l_2 - d_2 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à `%` et $l_2 + d_2 \leq \text{seuil}_3$
r_1 est égale à ` *`	r_2 est égale à ` *`, ou r_2 est égale à `<*` et $d_2 \leq \text{seuil}_2$ ou r_2 est égale à `/*` et $l_2 - d_2 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à `%*` et $l_2 + d_2 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à `%` et $l_2 - d_2 \leq \text{seuil}_3$
r_1 est égale à `%*`	r_2 est égale à `%*` et $ d_1 - d_2 \leq \text{seuil}_4$, ou r_2 est égale à `/*` et $ d_1 - d_2 \leq \text{seuil}_4$, ou r_2 est égale à `/` et $d_1 + d_2 \leq \text{seuil}_4$, ou r_2 est égale à ` ` et $l_1 + d_1 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à ` *` et $l_2 - d_1 \leq \text{seuil}_3$, ou r_2 est égale à `<` et $l_1 + d_1 \leq \text{seuil}_3$, et $d_2 \leq \text{seuil}_2$ ou r_2 est égale à `<*` et $l_2 - d_1 \leq \text{seuil}_3$ et $d_2 \leq \text{seuil}_2$

De la même manière, si $M_1 \in \mathbf{Mvt}$ et $M_2 \in \mathbf{Mvt}$ sont deux symboles de mouvement appartenant respectivement au premier et au deuxième signe, alors on dira que la paire de symboles de mouvement M_1 et M_2 a une similarité de niveau 1 si et seulement si $\mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_2$ et $SM_1 \cap SM_2 \neq \emptyset$.

La Figure 34 schématise la similarité de niveau 1 entre les projections sur l'axe des x des deux symboles s_1 et s_2 .

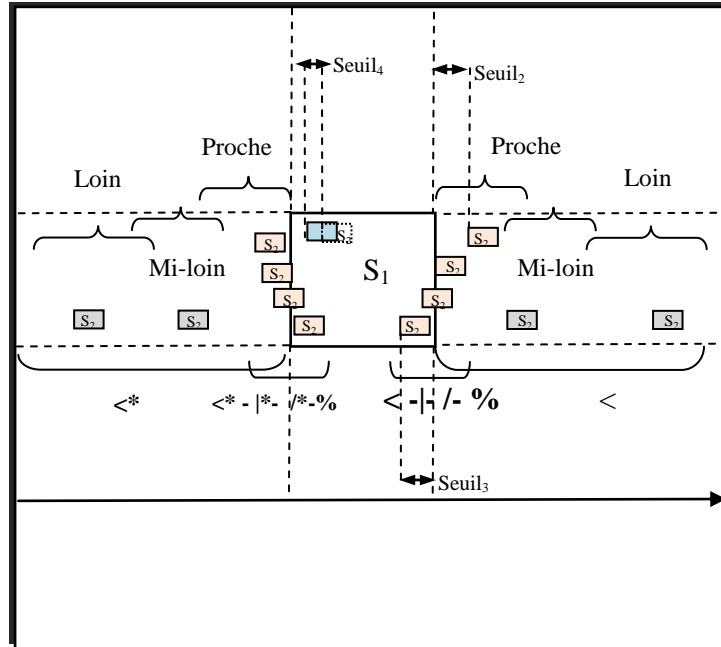


Figure 34 : Similarité de niveau 1 entre S_1 et S_2 .

➤ **Similarité de niveau 2 :**

Comme pour la similarité de niveau 2, les conditions sur les relations spatiales entre s_1 et s_2 dans les deux signes doivent être vérifiées à la fois dans les sous-chaînes SW-string u et v . Deux paires de symboles s_1 et $s_2 \in \mathbf{SC}$ ont une similarité de niveau 2 si elles respectent les règles décrites dans le Tableau 5 précédent à l'exception des règles '<' et '<*' qui sont décrites dans le Tableau 6. Par ailleurs, les valeurs des seuils, seuil_2 , seuil_3 et seuil_4 sont plus petites que dans la similarité de niveau 1.

Tableau 6 : Récapitulatif des règles de similarité de niveau 2 entre s_1 et s_2 .

Relation spatiale entre s_1 et s_2 (requête)	Relation spatiale entre s_1 et s_2 (signe comparé)
r_1 est égale à '<'	r_2 est égale à '<' et d_1 et d_2 appartiennent au même intervalle de proximité. $d_1 \leq \text{seuil}_2$ et r_2 est égale à ' '. $d_1 \leq \text{seuil}_2$ et r_2 est égale à '/' et $l1 - d_2 \leq \text{seuil}_3$. $d_1 \leq \text{seuil}_2$ et r_2 est égale à '%' et $l1 - d_2 \leq \text{seuil}_3$. $d_1 \leq \text{seuil}_2$ et r_2 est égale à '%*' et $l1 + d_1 \leq \text{seuil}_3$.
r_1 est égale à '<*'	r_2 est égale à '<*' et d_1 et d_2 appartiennent au même intervalle de proximité. $d_1 \leq \text{seuil}_2$ et r_2 est égale à ' *'. $d_1 \leq \text{seuil}_2$ et r_2 est égale à '/*' et $l2 - d_2 \leq \text{seuil}_3$. $d_1 \leq \text{seuil}_2$ et r_2 est égale à '%' et $l2 + d_2 \leq \text{seuil}_3$. $d_1 \leq \text{seuil}_2$ et r_2 est égale à '%*' et $l2 - d_2 \leq \text{seuil}_3$.

Soit $M_1 \in \mathbf{Mvt}$ et $M_2 \in \mathbf{Mvt}$, tel que M_1 appartient au premier signe et M_2 au deuxième. On dira que M_1 a une similarité de niveau 2 avec M_2 si $\mathbf{M}_1 = \mathbf{M}_2$ et $\mathbf{SM}_1 = \mathbf{SM}_2$.

Les règles de similarité de niveau 2 permettent d'effectuer une recherche de signes plus nuancée que dans la recherche de signes avec la similarité de niveau 1.

4.3.4.2 Distance entre signes

Soient Sgn_1 et Sgn_2 deux signes ayant une similarité de niveau k , $1 \leq k \leq 2$, et soient (s_1, s_2) une paire de symboles de segments corporels apparaissant dans les deux signes. l_i et h_i dénotent la taille en pixel de la projection du symbole S_i par rapport, respectivement, à l'axe des x et l'axe des y , $i \in \{1, 2\}$. $s_1 r_1^x d_1^x s_2$ et $s_1 r_1^y d_1^y s_2$ décrivent les relations spatiales entre les deux symboles s_1 et s_2 selon, respectivement, l'axe des x et l'axe des y dans le signe Sgn_1 . De même, soient $s_1 r_2^x d_2^x s_2$ et $s_1 r_2^y d_2^y s_2$ les relations spatiales entre les deux symboles s_1 et s_2 selon, respectivement, l'axe des x et l'axe des y dans le deuxième signe Sgn_2 .

On définit la distance Euclidienne **D** entre les deux paires de symboles (s_1, s_2) dans les deux signes Sgn_1 et Sgn_2 comme suit :

$$D = \sqrt{depl^u^2 + depl^v^2};$$

$depl^x = dist_1^x - dist_2^x$ et $depl^y = dist_1^y - dist_2^y$, tel que $dist_1$ et $dist_2$ représentent la distance entre les points supérieurs gauches des REM de s_1 et s_2 , selon l'axe des x et l'axe des y, respectivement, dans Sgn_1 et Sgn_2 .

Tableau 7 : Récapitulatif de la distance $depl^x$ entre deux paires de symboles (s_1, s_2).

	<, d ₂		/, d ₂	%, d ₂	<*, d ₂	*	/*, d ₂	%*, d ₂
<, d ₁	d ₁ .d ₂	d ₁	l ₁ -d ₂ +d ₁	l ₁ -d ₂ +d ₁	-----	-----	-----	l ₁ +d ₂ +d ₁
	d ₂	0	l ₁ -d ₂	l ₁ -d ₂	-----	-----	-----	l ₁ +d ₂
/, d ₁	l ₁ -d ₁ +d ₂	l ₁ -d ₁	d ₁ -d ₂	d ₁ -d ₂	-----	-----	-----	l ₁ -d ₁ +d ₂
%	l ₁ -d ₁ +d ₂	l ₁ -d ₁	d ₁ -d ₂	d ₁ -d ₂	l ₂ +d ₁ +d ₂	l ₂ +d ₁	d ₁ +d ₂	-----
<*, d ₁	-----	-----	-----	l ₂ +d ₁ +d ₂	d ₁ -d ₂	d ₁	l ₂ -d ₂ +d ₁	l ₂ -d ₂ +d ₁
*	-----	-----	-----	l ₂ +d ₂	d ₂	0	l ₂ -d ₂	l ₂ -d ₂
/*, d ₁	-----	-----	-----	d ₁ +d ₂	l ₂ -d ₁ +d ₂	l ₂ -d ₁	d ₁ -d ₂	d ₁ -d ₂
%*, d ₁	l ₁ +d ₁ +d ₂	l ₁ +d ₂	d ₁ +d ₂	-----	l ₂ -d ₁ +d ₂	l ₂ -d ₁	d ₁ -d ₂	d ₁ -d ₂

La distance entre deux signes contenant **n** symboles de segments corporels est définie comme suit :

$$\text{Distance} = \sum_{i=1}^m D_i;$$

m étant le nombre de paires de symboles impliquées dans le calcul de la distance.

Les paires de symboles impliquées dans le calcul de la distance sont les paires constituées de symboles de configurations manuelles et de segments de tête ou de corps.

4.3.4.3 L'algorithme de recherche par similarité

L'algorithme de recherche par similarité décrit ci-dessous, permet d'effectuer à partir d'une image exemple une recherche exacte par similarité dans une base de données de signes. Une image exemple est un signe écrit en SW et entré au système dans le but d'extraire les signes similaires. Ces derniers sont triés selon une mesure de similarité entre signes notée **Distance**.

Algorithme de recherche par similarité

Entrées :

- La chaîne $(u,v,mvt)=(S_1 r_1^x d_1^x S_2 \dots r_{n-1}^x d_{n-1}^x S_n, S_1 r_1^y d_1^y S_2 r_2^y d_2^y \dots r_{n-1}^y d_{n-1}^y S_n, M_1 s_1 \dots s_h, \dots, M_k s_1 \dots s_m)$ de SW-string
- $S_1(l_1, h_1), S_2(l_2, h_2), \dots, S_n(l_n, h_n)$
- Le niveau de similarité $k, 1 \leq k \leq 2$

Sorties :

- Les signes SW similaires
- Distance

1. Pour chaque signe comparé $(Sc_1 r_{c_1}^x dc_{c_1}^x Sc_2 \dots r_{c_{n-1}}^x dc_{c_{n-1}}^x Sc_n, Sc_1 r_{c_1}^y dc_{c_1}^y Sc_2 r_{c_2}^y dc_{c_2}^y \dots r_{c_{n-1}}^y dc_{c_{n-1}}^y Sc_n)$ **faire**

Vérifier que les symboles dans les deux signes sont identiques.

Pour (i=1 à n)

Si $(S_i = Sc_i)$ alors $i=i+1$;
sinon aller à **1**;

Pour toutes les paires $S_i \in Sc$ et $S_j \in Sc$:

Si (la paire (S_i, S_j) a une *similarité de niveau k* avec la paire (Sc_i, Sc_j))

alors

- Calculer **D** la distance entre les deux paires (S_i, S_j) et (Sc_i, Sc_j) ;
- Incrémenter la distance **Distance** entre les deux signes par **D**;

sinon aller à **1** ;

```

Pour (i=1 à m) faire
    Si (La paire (Mi , Mci ), Mi et Mci ∈ Mvt a une similarité de niveau K) alors
        i=i+1;
    sinon aller à 1. ;
Ajouter le signe comparé et Distance à la liste des signes similaires.

```

4.4 Conclusion

Ce chapitre présente le modèle SW-string de représentation des relations spatiales et d'association pour le système d'écriture des signes SW. SW-string se base sur le modèle de représentation des relations spatiales 2D-string qu'il enrichit avec des opérateurs spatiaux adaptés et avec les distances relatives entre les différents symboles. Deux niveaux de similarité pour les 8 relations spatiales décrites dans SW-string ont été définis afin d'effectuer des recherches de signes adaptées à SW.

Le chapitre suivant contient la description du logiciel SW-Recherche qui a permis la mise en œuvre des procédures décrites dans ce chapitre ainsi que l'évaluation expérimentale de ce dernier.

Chapitre 5

Implémentation et évaluation expérimentale

Nous présentons dans ce chapitre l'outil logiciel SW-Recherche que nous avons développé ainsi que son évaluation expérimentale. SW-Recherche permet d'évaluer le modèle de représentation des relations spatiales proposé dans ce mémoire.

5.1 Introduction

La bidirectionnalité qu'introduit le système d'écriture SW a pour conséquence une variabilité dans l'écriture des signes de telle façon qu'un même signe, même écrit par la même personne, n'est pas codé de la même manière. Ceci est dû au fait que les différents symboles composant le signe en question auront quasiment toujours des coordonnées différentes dans la cellule, même si l'interprétation du signe par l'utilisateur reste identique.

Le chapitre précédent propose un modèle pour représenter les signes écrits en SW. Le modèle SW-string proposé permet d'effectuer des recherches de signes similaires dans le dictionnaire des signes à partir d'un signe exemple introduit par l'utilisateur. Pour évaluer le modèle de représentation proposé, nous avons développé le système SW-Recherche.

Ce chapitre présente SW-Recherche, expose les adaptations que nous avons dû effectuer sur la méthodologie de départ et termine avec une évaluation expérimentale du système.

5.2 Dictionnaire de signes

Le fichier SBML.xml téléchargé à partir du site web www.signwriting.org contient la description d'environ 10 000 signes. La balise <build> contient les symboles constituant le signe ainsi que leurs coordonnées cartésiennes dans la cellule. La balise <sequence> contient uniquement la liste des symboles qui forment le signe et finalement on retrouve dans la balise <detail> une description du signe dans la langue orale.

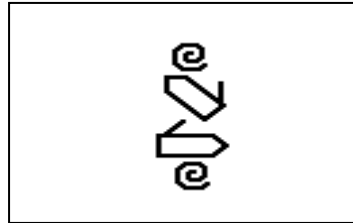


Figure 35 : Le signe « Enjoy » écrit en SW.

```
<sign>
  <id>sgn4_3096</id>
  <build>01-05-015-01-01-02,121,74,01-05-015-01-01-11,118,96,02-01-013-01-01-01,124,58,02-01-013-01-01-01,125,117</build>
  <sequence>01-05-015-01-01-02,01-05-015-01-01-11,02-01-013-01-01-01,02-01-013-01-01-01</sequence>
  <detail> enjoy </detail>
</sign>
```

Figure 36 : La description du signe « Enjoy » dans le fichier SBML.xml.

Pour pouvoir effectuer des recherches de signes similaires, le fichier 2D-String SBML.xml est créé à partir du fichier SBML.xml. Ci-dessous, la description XML du signe « Enjoy » dans le fichier 2D-String SBML.xml.

```

<Signe>
  <Symboles>01-05-015-01-01-02,01-05-015-01-01-11,02-01-013-01-01-01,02-01-013-01-01-01,</Symboles>
  <Projection_en_X>/*,3,%,6/,1,</Projection_en_X>
  <Projection_en_Y>/,22, <*,25, < ,46,</Projection_en_Y>
  <Mouvement>02-01-013-01-01-01,01-05-015-01-01-02,02-01-013-01-01-01,01-05-015-01-01-11,</Mouvement>
  <Detail>enjoy</Detail>
</Signe>

```

Figure 37 : La description du signe « Enjoy » dans le fichier 2D-string SBML.xml.

Dans la balise <Symboles> nous retrouvons la liste des symboles corporels triée par ordre croissant suivie par la liste des symboles de mouvement et des symboles dynamiques, également triée par ordre croissant. Les balises <Projection_en_X> et <Projection_en_Y> contiennent les relations spatiales entre les symboles triés du signe. La balise <Mouvement> correspond à la chaîne Mvt décrite dans le chapitre précédent et qui contient la liste des relations d'association entre les symboles de mouvement et les symboles dynamiques et les autres symboles des segments corporels. Enfin, la balise <Detail> permet d'avoir la signification du signe dans la langue orale.

Dans la méthodologie, un modèle de description des relations spatiales a été proposé. Nous avons repris ce modèle pour décrire les signes écrits en SW mais nous avons, comme apparaît dans l'exemple précédent, séparé les chaînes <Symboles>, <Projection_en_X>, <Projection_en_Y> et <Mouvement> dans le but d'accélérer la recherche des signes similaires dans le dictionnaire de signes.

Soit deux signes sgn1 et sgn2. sgn1 est décrit par les balises <Symboles1>, <Projection_en_X1>, <Projection_en_Y1> et <Mouvement1>. Le signe sgn2 est décrit par les balises <Symboles2>, <Projection_en_X2>, <Projection_en_Y2> et <Mouvement2>. L'algorithme de recherche de signe par similarité commence par comparer les deux chaînes <Symboles1> et <Symboles2>. Si la liste des symboles triée est identique dans les deux signes, l'algorithme vérifie alors la similarité des relations spatiales, selon l'axe des x, dans les deux signes. Puis, selon l'axe des y, si la similarité selon l'axe des x est vérifiée. La comparaison de la similarité des relations d'association n'est effectuée que si les relations spatiales entre les deux signes sont similaires.

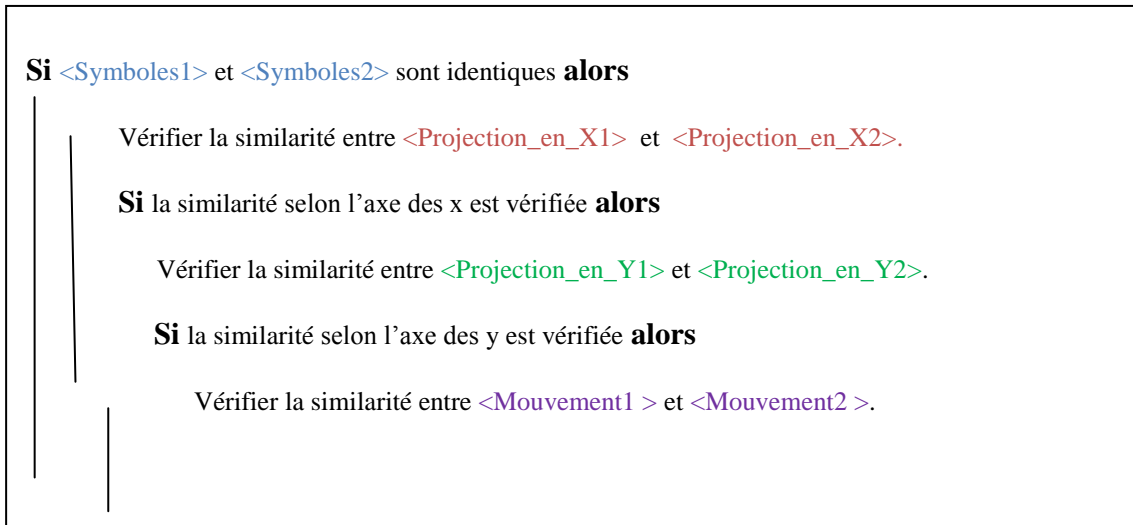


Figure 38 : Algorithme de recherche de signes dans SW-Recherche.

La solution proposée dans ce travail a été implémentée sous l'environnement c++ Visual 2010.

5.3 Le système SW-Recherche

Le développement de SW-Recherche nous a permis de mettre en œuvre les procédures décrites dans le chapitre précédent.

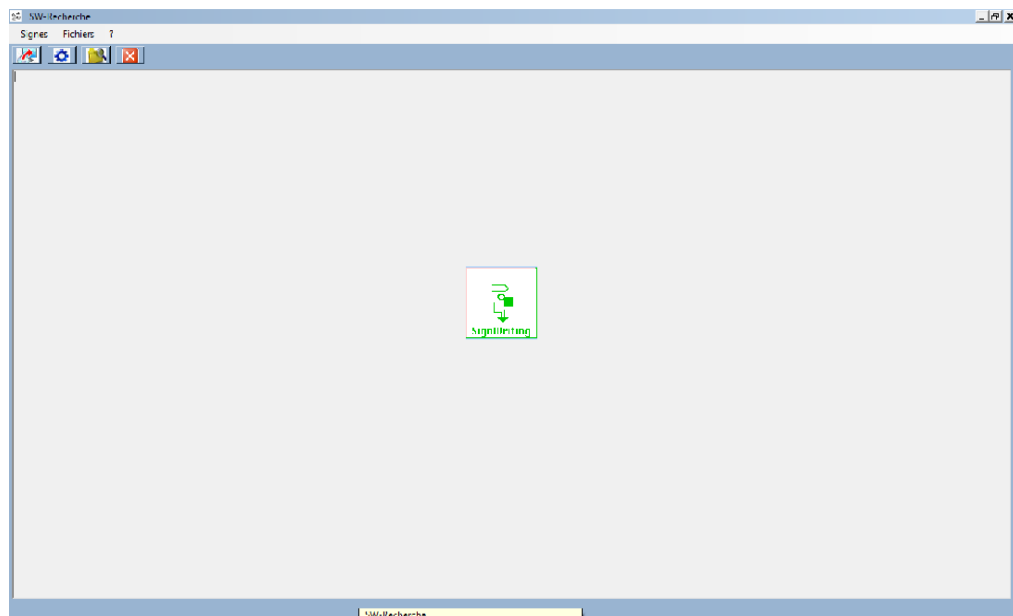


Figure 39 : Interface du système SW-Recherche.

Le menu principal de SW-Recherche offre deux options, « Signes », et « Fichiers ». Appuyer sur « Signes » permet d'afficher les 4 options du sous-menu. Ces options sont « Visualiser », « Créer », « Rechercher » et « Quitter ». Elles permettent respectivement de visualiser un signe de la base des signes en effectuant une recherche par mots, de créer un nouveau signe dans le dictionnaire de signes, d'effectuer une recherche par similarité du signe dans ce même dictionnaire et finalement de quitter l'application SW-Recherche.

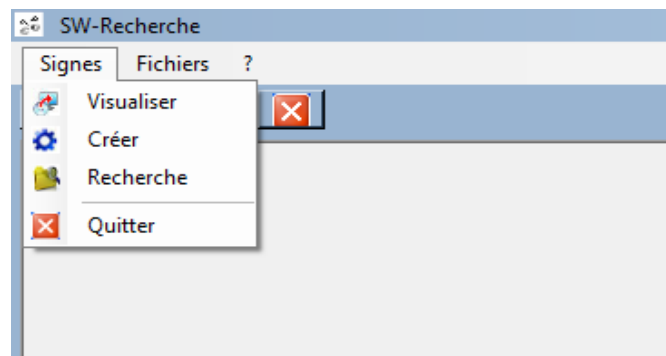


Figure 40 : Le sous-menu « Signes » de SW-Recherche.

Le sous-menu « Fichiers » permet de lancer la création du fichier 2D-String SBML.xml à partir du fichier SBML.xml ainsi que de visualiser ces deux fichiers.

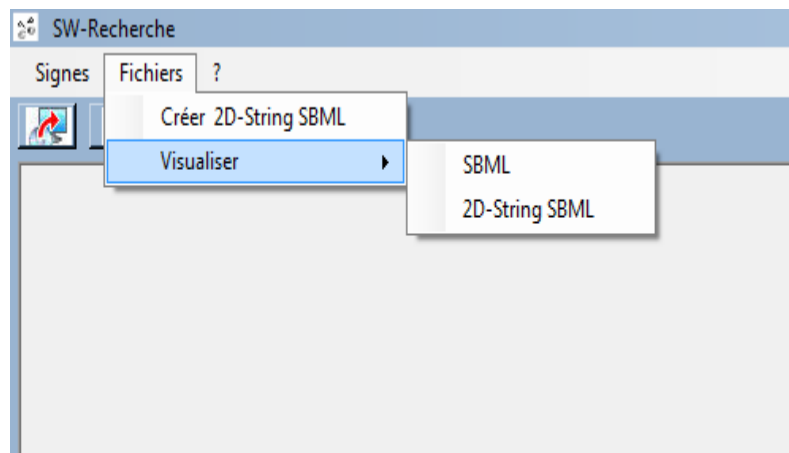


Figure 41 : Le sous-menu « Fichiers » de SW-Recherche.

La boîte de dialogue « Créer un signe » nous permet de créer un nouveau signe. La chaîne SW-string correspondant à ce signe est calculée au moyen de la procédure de génération de la chaîne SW-string décrite dans le chapitre précédent. La chaîne obtenue est enregistrée dans le fichier 2D-string SBML.xml.

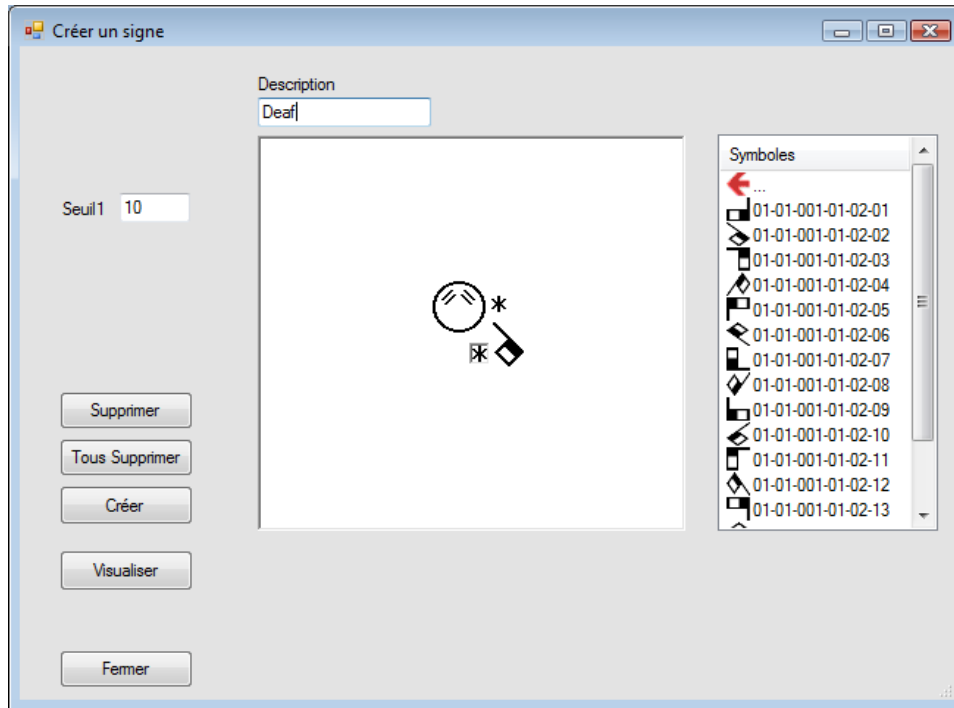


Figure 42 : La boîte de dialogue « Créer un signe ».

La visualisation des signes présents dans le dictionnaire de signes se fait par l'intermédiaire de la procédure de reconstruction du signe décrite également dans le chapitre précédent.

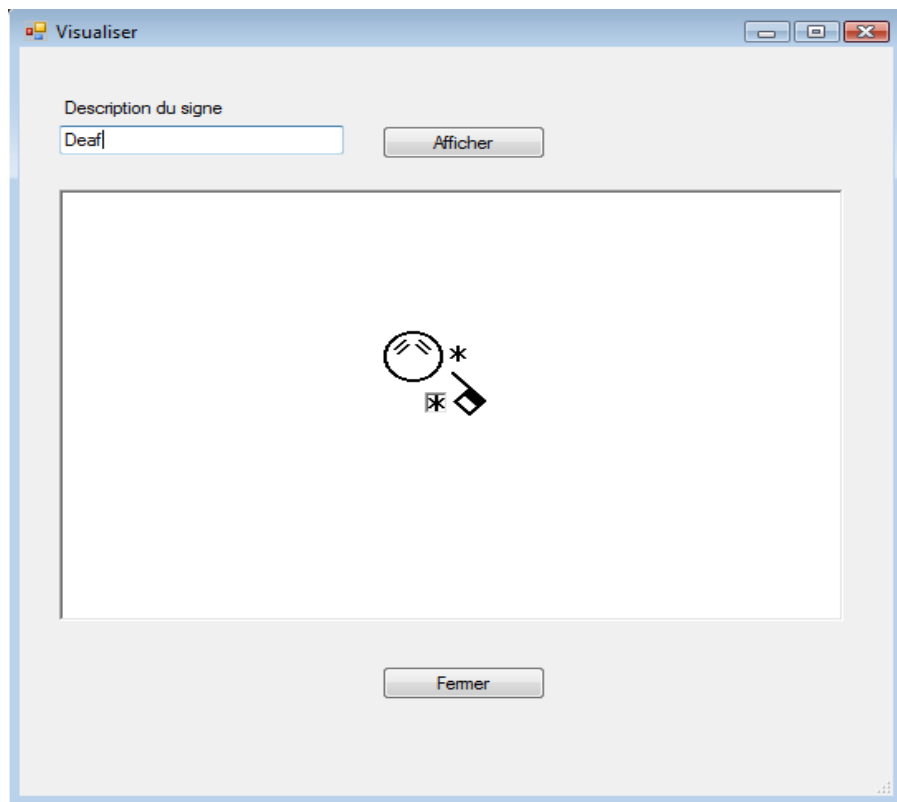


Figure 43 : La boîte de dialogue « Visualiser ».

L'algorithme de recherche par similarité décrit dans le chapitre 4 est implémenté afin de permettre la recherche de signes similaires. Ainsi, la boîte de dialogue « Recherche dans SW-String » permet à l'utilisateur de naviguer dans la List-Box « Symboles », de choisir des symboles et de les déposer dans la cellule pour constituer le signe exemple. Il choisit également le niveau de similarité désiré, puis il lance la recherche.

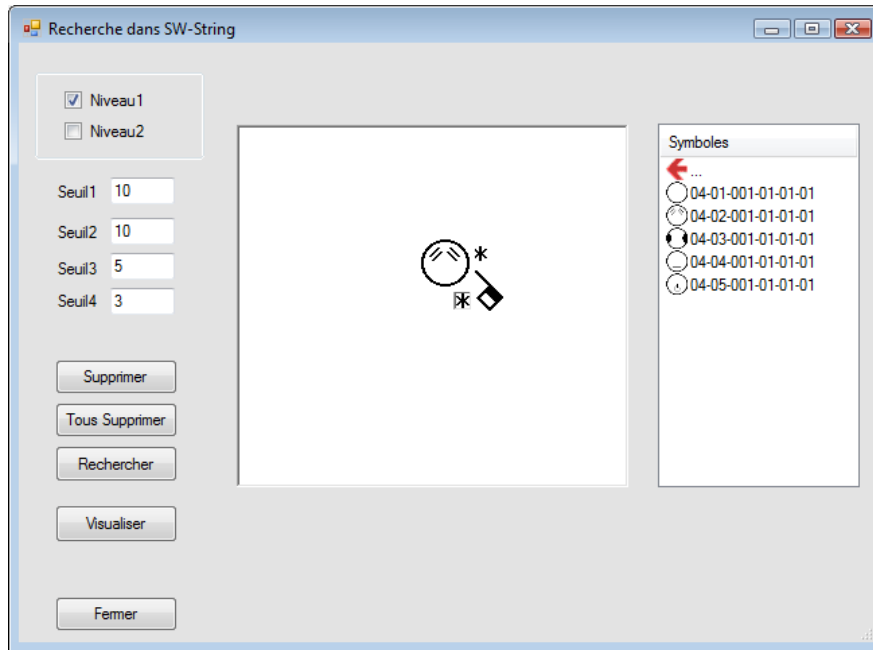


Figure 44 : La boîte de dialogue « Recherche dans SW-string » - Niveau1 -.

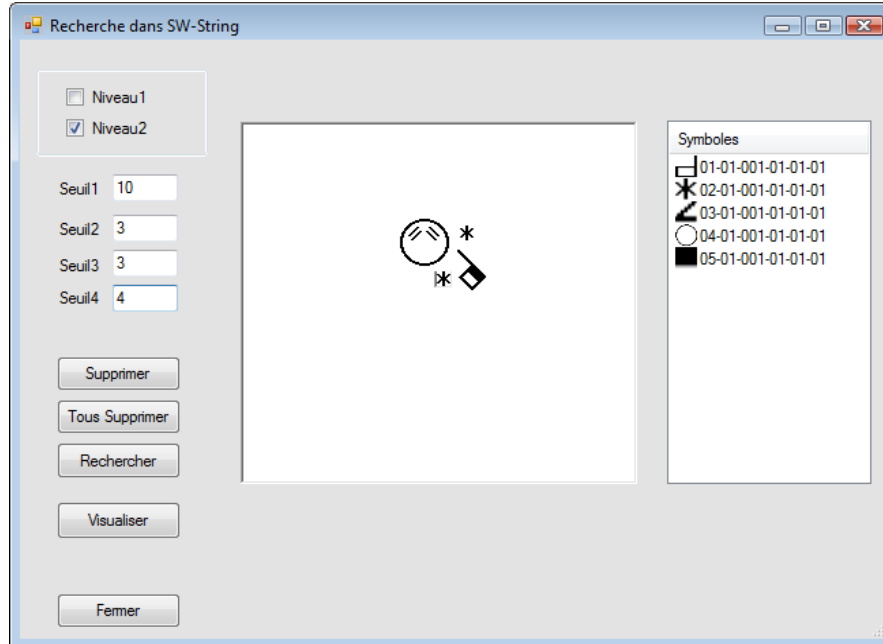


Figure 45 : La boîte de dialogue « Recherche dans SW-string » - Niveau2 -.

Dans la boîte de dialogue « Résultat de recherche », les signes similaires sont affichés, avec la distance Euclidienne (en pixels) qui les sépare du signe exemple.

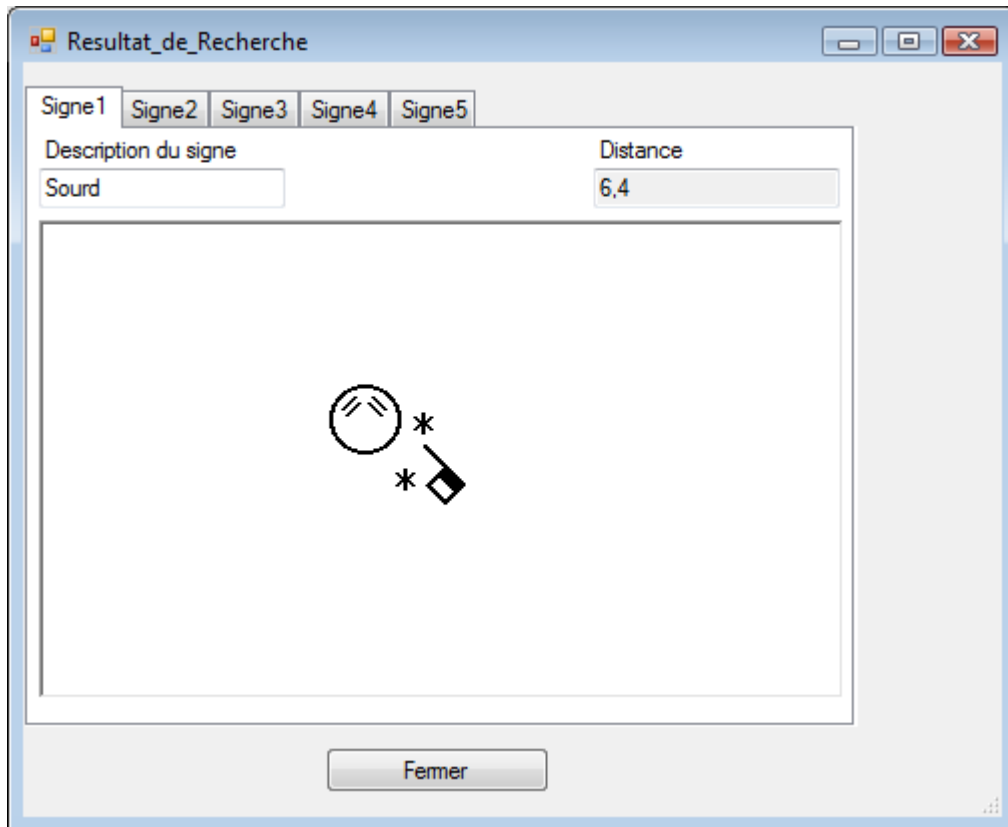


Figure 46 : La boîte de dialogue « Résultat de recherche ».

Nous allons décrire, dans ce qui suit, les différents tests que nous avons effectués avec le système de recherche de signes SW-Recherche afin de valider le modèle SW-string proposé.

5.4 Protocole d'évaluation

La validation de l'approche proposée ici se fait par la création de jeux de test représentatifs. Les signes choisis sont des signes usuels représentant différentes configurations de symboles SW. Il s'agit d'effectuer des recherches de signes similaires dans le dictionnaire de signes 2D-String SBML.xml. Cette évaluation des performances dépend étroitement de la perception visuelle de l'humain et du contenu du dictionnaire des signes.

L'estimation de l'efficacité de notre système de recherche de signes se fait à travers l'application des mesures de rappel et de précision largement utilisées pour la recherche d'informations. Le rappel et la précision mesurent la concordance des informations retournés avec la requête.

La figure suivante illustre le calcul du rappel et de la précision. Le rappel est défini par le nombre de signes pertinents renvoyés par le système par rapport au nombre total de signes pertinents présents dans le dictionnaire de signes. Il correspond au quotient $\frac{\alpha}{\beta}$. Le nombre de signes pertinents dans le dictionnaire étant égal à 1, le rappel correspond donc, dans notre cas, au nombre de signes pertinents renvoyés par le système.

La précision qui est égale au quotient $\frac{\alpha}{\gamma}$ correspond au nombre de signes pertinents retrouvés, rapporté au nombre de signes proposés par SW-Recherche.

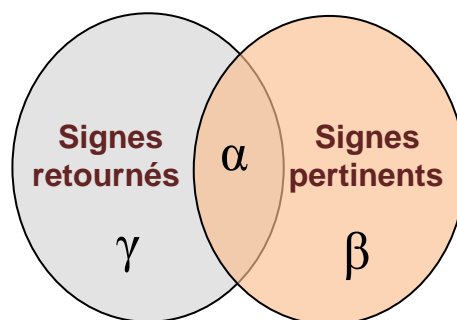


Figure 47 : Mesures de rappel et de précision.

Les deux métriques rappel et précision s'utilisent conjointement pour l'évaluation des performances des SRI. Si le rappel est faible, cela indique qu'une partie de l'information pertinente n'est pas communiquée à l'utilisateur. Par ailleurs, si la précision est faible, l'utilisateur est confronté à la forte concentration des informations non-pertinentes dans les résultats de la recherche.

Dans notre cas, le rappel est soit égal à 0 ou à 1, donc la précision est la mesure qui nous permet d'évaluer notre système de recherche.

Ainsi, si le système, en réponse à une requête, retourne 5 signes, dont une bonne réponse, c.-à-d. le signe en question, le rappel vaut $\frac{1}{1}=1$ et la précision vaut $\frac{1}{5} = 0.2$.

5.5 Description des données

Le fichier 2D-String SBML.xml décrit précédemment a été utilisé pour effectuer les tests.

Pour les jeux de tests, il s'agit de choisir une collection de signes qui permettent de tester les 8 relations spatiales retenues dans notre méthodologie ainsi que les relations d'association.

Pour chaque requête effectuée, le système est supposé retourner le signe correspondant dans le fichier 2D-String SBML.xml et écarter tous les autres signes constitués par les mêmes symboles mais disposés de manière à représenter un autre signe.

Les valeurs des seuils ont été fixées après plusieurs essais sur différents signes.

Le tableau suivant présente les seuils, en pixels, retenus pour respectivement, la similarité de niveau 1 et 2.

Tableau 8 : Les valeurs des seuils (en pixels) dans SW_Recherche.

	Niveau 1	Niveau2
Seuil 1	10	10
Seuil 2	10	3
Seuil 3	5	3
Seuil 4	$\frac{l}{3}$ ou $\frac{h}{3}$	$\frac{l}{4}$ ou $\frac{h}{4}$
Intervalle 1	—	De 0 à 20
Intervalle 2	—	De 10 à 60
Intervalle 3	—	Plus de 50.

l et h correspondent respectivement à la plus grande longueur, selon l'axe des x , et à la plus grande hauteur, selon l'axe des y , parmi les deux longueurs, respectivement, les deux hauteurs, des deux symboles impliqués dans la relation spatiale.

5.6 Jeu d'essai

Le jeu d'essai que nous avons utilisé est constitué de 40 signes tirés de la LSA. Chaque signe est composé de plusieurs symboles disposés d'une certaine manière pour constituer le signe en question. Quatre autres signes composés du même ensemble de symboles, mais disposés autrement sont créés pour chaque signe du jeu d'essai.

Les signes du jeu d'essai sont des signes usuels choisis de telle façon à représenter les différentes configurations de symboles possibles. Ainsi. Nous avons choisi, dans la première catégorie, des signes composés uniquement de segments corporels, c.-à-d. de symboles de configuration manuelle, de tête et de corps. Ceci nous permet de tester les

différentes règles de similarité de niveau 1 et de niveau 2 relatives à la disposition des segments corporels. Dans la deuxième catégorie, nous avons un autre groupe de signes, constitué de segments corporels et de symboles de mouvement et/ou de symboles dynamiques. Ainsi, nous testerons, en plus des règles de similarité relatives à la disposition des segments corporels, celles relatives aux symboles de mouvement et aux symboles dynamiques. Dans chacune des deux catégories nous avons 20 signes.

Les tests ont été effectués de telle façon que pour chaque signe du jeu d'essai 5 requêtes différentes sont introduites au système. Ceci permet de tester, pour les deux niveaux de similarité, les variations interpersonnelles introduites à chaque itération ainsi que certaines variations intra-personnelles courantes.





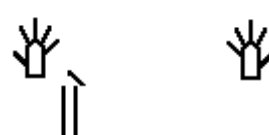


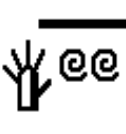
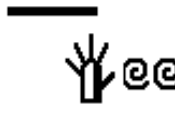


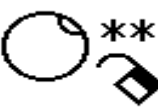


















				
Raise				
				
Fine				
				
Mind				
				
Thank you				
				
Learn				
				
Read				

Figure 48 : Exemples de signes de test pour l'évaluation de SW_Recherche.

Cucumber				
Nothing				
Sea				
Valerie Sutton				
Coconut				

Figure 49 : Exemples de signes de test pour l'évaluation de SW-Recherche (Suite).

Alive				
Hindsight				
Evelushes				
Inspire				

Figure 50 : Exemples de signes de test pour l'évaluation de SW-Recherche (Suite).

5.7 Résultats et interprétation

Le Tableau 9 présente les résultats des tests effectués sur l'ensemble des signes SW du jeu d'essai pour les deux niveaux de similarité définis précédemment dans le chapitre méthodologie. Ces résultats sont classés selon les deux catégories de signes expliquées précédemment.

Tableau 9 : Récapitulatif des résultats des tests par catégorie.

Requête \ Résultats	Niveau 1		Niveau 2	
	Non détectés	Fausse détections	Non détectés	Fausse détections
Catégorie 1	0	2	4	2
Catégorie 2	3	2	4	4
Total	3	4	-	6

Le tTableau 10 présente les résultats des tests effectués sur les exemples de signes SW des figures Figure 48 et Figure 49, pour les deux niveaux de similarité.

Tableau 10 : Récapitulatif des résultats des tests pour les exemples de signes.

Résultats Requête		Niveau 1			Niveau 2		
		Rappel	Précision	Distance	Rappel	Précision	Distance
Raise	Requête 1	1	1	3	1	1	3
		1	0.5	6			
	Requête 2	1	1	6	1	1	6
		1	0.5	58			
	Requête 3	1	1	4	1	1	4
		1	0.5	60.02			
	Requête 4	1	1	7	1	1	7
		1	0.5	57			
Requête 5	1	1	8	1	1	8	
	1	0.5	72				
Fine	Requête 1	1	1	4	1	1	4
	Requête 2	1	1	8.60	1	1	8.60
	Requête 3	1	1	6.08	1	1	6.08
	Requête 4	1	1	7.07	1	1	7.07
	Requête 5	1	1	6.05	1	1	6.05
Mind	Requête 1	1	1	2	1	1	2
	Requête 2	1	1	4.24	1	1	4.24
		1	0.5	11.18	1	0.5	11.18
		1	0.33	13.60			
	Requête 3	1	1	5.01	1	1	5.01
	Requête 4	1	1	4.12	1	1	4.12
Requête 5	1	1	7.07	1	1	7.07	
Thank	Requête 1	1	1	4.12	1	1	4.12
	Requête 2	1	1	2.23	1	1	2.23
	Requête 3	1	1	2	1	1	2

you		1	0.5	11.04			
	Requête 4	1	1	3	1	1	3
	Requête 5	1	1	2.35	1	1	2.35
		1	0.5	12			
		1	0.33	13.04			
Learn	Requête 1	1	1	13.70	1	1	13.70
	Requête 2	1	1	27.35	1	1	27.35
	Requête 3	1	1	9.59	1	1	9.59
	Requête 4	1	1	12	1	1	12
	Requête 5	1	1	18	0	0	---
Read	Requête 1	1	1	1.23	1	1	1.23
		1	0.5	2.35			
		1	0.33	3.04			
	Requête 2	1	1	5.38	1	1	5.38
	Requête 3	1	1	2.23	1	1	4.12
		1	0.5	4.12			
	Requête 4	1	1	5	1	1	5
		1	0.5	6.70			
Requête 5	1	1	4.12	1	1	4.12	
Cucumber	Requête 1	1	1	1.41	1	1	1.41
	Requête 2	1	1	21.02	1	1	21.02
	Requête 3	1	1	3.16	1	1	3.16
	Requête 4	1	1	4	1	1	4
	Requête 5	1	1	3.60	1	1	3.60
		1	0.5	6	1	0.5	6
Nothing	Requête 1	1	1	19.15	1	1	19.15
	Requête 2	1	1	44.43	0	0	---
	Requête 3	1	1	10.98	1	1	10.98
	Requête 4	1	1	53.18	1	1	53.18

	Requête 5	1	1	42.13	1	1	42.13
Sea	Requête 1	1	1	70	1	1	70
	Requête 2	1	1	64.57	1	1	64.57
	Requête 3	1	1	50.89	1	1	50.89
	Requête 4	1	1	16.53	1	1	16.53
	Requête 5	0	0	—	0	0	—
Valérie Sutton	Requête 1	1	1	5.88	1	1	5.88
		1	0.5	14.91			
	Requête 2	1	1	26.92	1	1	26.92
		1	0.5	35.14			
	Requête 3	1	1	13.53	1	1	13.53
		1	0.5	20.06			
	Requête 4	0	0	29.45	0	0	29.45
		1	0.5	34.08			
	Requête 5	1	1	14.01	1	1	14.01
		1	0.5	22.03			
Coconut	Requête 1	1	1	6.30	1	1	6.30
	Requête 2	1	1	5.80	1	1	5.80
	Requête 3	1	1	5.62	1	1	5.62
	Requête 4	1	1	7.08	1	1	7.08
	Requête 5	1	1	5.24	1	1	5.24
Alive	Requête 1	0	0	—	0	0	—
	Requête 2	1	1	65.98	1	1	65.98
	Requête 3	1	1	73.01	1	1	73.01
	Requête 4	1	1	50.77	1	1	50.77
	Requête 5	1	1	65.90	1	1	65.90
Hindsight	Requête 1	1	1	13.09	1	1	13.09
	Requête 2	1	1	12.54	1	1	12.54
	Requête 3	1	1	14.23	1	1	14.23

	Requête 4	1	1	22.05	1	1	22.05
	Requête 5	1	1	18.45	1	1	18.459
Eyelushes	Requête 1	1	1	5.02	1	1	5.02
	Requête 2	1	1	6.60	1	1	6.60
	Requête 3	1	1	1,94	1	1	1,94
	Requête 4	1	1	6.87	1	1	6.87
	Requête 5	1	1	4.98	1	1	4.98
Inspire	Requête 1	1	1	6.30	1	1	6.30
	Requête 2	1	1	34.01	1	1	34.01
	Requête 3	1	1	32.08	1	1	32.08
	Requête 4	0	0	—	0	0	—
	Requête 5	1	1	22.65	1	1	22.65

Les résultats obtenus sont prometteurs. En effet, le système SW-Recherche permet d'effectuer des recherches de signes sur la base des relations spatiales et d'association entre les symboles les constituant. Les résultats démontrent que pour la recherche d'un signe donné, des signes composés par les mêmes symboles sont écartés parce qu'ils sont différents du signe recherché.

Dans les requêtes du signe « Raise », et aussi dans d'autres requêtes avec d'autres signes (lignes du tableau colorées en rose), SW-Recherche a délivré plus d'un résultat, en l'occurrence deux résultats. La mesure de distance Euclidienne utilisée a permis dans ces cas d'identifier le signe en question.

Dans la deuxième requête du signe « Nothing », la similarité de niveau 2 n'a délivré aucun résultat du fait que la requête introduisait des variations intra-personnelles que seule la similarité de niveau 1 peut détecter. Dans le Tableau 9, nous avons pour la catégorie 1, quatre requêtes, et pour la catégorie 2, une requête, pour lesquelles la similarité de niveau 2 n'a délivré aucun résultat à cause des variabilités intra-personnelles introduites dans ces requêtes. Cette situation correspond à la définition des niveaux 1 et 2 de similarité.

Cependant, pour le signe « Sea », la cinquième requête n'a délivré aucun résultat. En effet, même si la requête était visuellement interprétée comme identique au signe « Sea », le système ne l'a pas retenue en tant que telle parce que dans cette situation, les relations spatiales entre la paire de symboles manuels associée au symbole de mouvement ne sont pas importantes. Les associations de ces deux symboles manuels avec le symbole de mouvement correspondant sont suffisantes pour caractériser le signe. Pour les mêmes raisons, la recherche de similarité de niveau 2 pour le signe « Learn » n'a pas fourni de résultats. Pour notre jeu d'essai, et comme nous pouvons le voir dans le Tableau 9, dans la catégorie 2, nous avons trois requêtes pour le niveau 1 et quatre requêtes pour le niveau 2 qui n'ont pas fourni de résultats pour les mêmes raisons. Ces requêtes concernent des signes différents. Il s'agit des signes « Sea », « Inspire », « Alive » et « Learn ».

Dans la quatrième requête du signe « Valerie Sutton », SW-Recherche a également délivré deux résultats. Cependant, la mesure de distance Euclidienne utilisée n'a pas permis dans ce cas d'identifier le signe « Valerie Sutton ». La raison est que la mesure de distance utilisée est calculée en pixels par rapport à toutes les paires de symboles corporels et qu'elle ne tient pas compte du fait que certaines variations dans la distance ont plus d'impact sémantiques que d'autres.




Signe requête	Signe pertinent	Signe non pertinent
		
Requête	Résultat 1 D=34.08	Résultat 2 D=29.45

Figure 51 : Résultats obtenus pour la requête du signe « Valerie Sutton ».

Pour notre jeu de test, nous avons obtenu, pour le niveau 1, quatre fausses détections et pour le niveau 2, six fausses détections.

Ces résultats permettent d'identifier deux principaux défis pour la recherche des signes SW.

Les relations d'association combinées aux relations spatiales entre les segments corporels permettent dans bien des cas d'obtenir de bons résultats. Cependant, et à cause du fossé sémantique, ces relations ne permettent pas toujours de reproduire l'interprétation humaine.

Par ailleurs, la mesure de distance Euclidienne est parfaitement adaptée aux signes SW contenant deux symboles de segments corporels mais l'est moins pour les signes avec plusieurs segments corporels.

Un scénario pour utiliser les procédures mises en place dans ce travail consiste à retourner à l'utilisateur les résultats de la recherche de niveau 2 et si cette recherche ne fournit pas de résultats, lui retourner à ce moment-là les résultats de la recherche de similarité de niveau 1.

Ces procédures peuvent être utilisées pour rechercher les signes dans un éditeur de signes, qui effectue des recherches de signes dans un texte écrit en SW, un correcteur d'orthographe, un traducteur automatique, ou tout autre programme nécessitant l'identification du signe.

5.8 La recherche de signes par symboles dans SignPuddle

SignPuddle permet d'effectuer des recherches par symboles dans le dictionnaire de signes.

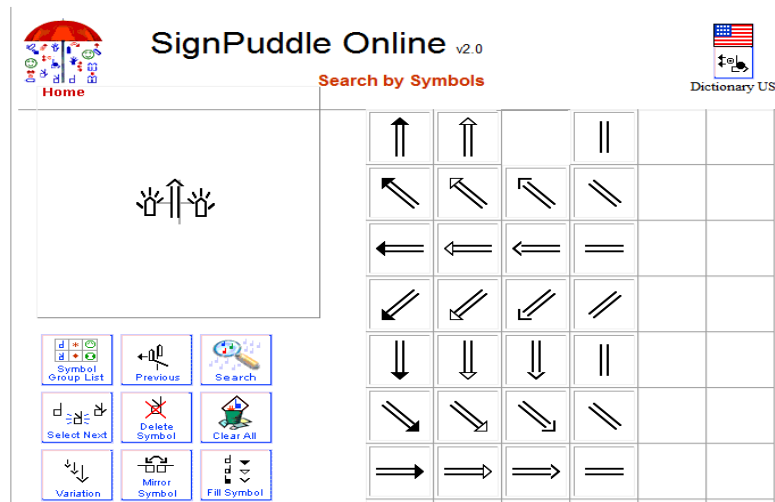





Figure 52 : Interface SignPuddle pour la recherche de signes par symboles.

Nous avons lancé la recherche du signe ASL « Raise ». Bien que nous l'ayons introduit, la recherche ne prend pas en considération le symbole de mouvement. Les résultats de cette recherche apparaissent dans la Figure 53. On constate que le rappel est égal à 1 alors que la précision est égale à $\frac{1}{9}$.



Search Criteria

Approximate location	Symbol List
 Remove Location Criteria...	 - Exact Match  - Exact Match

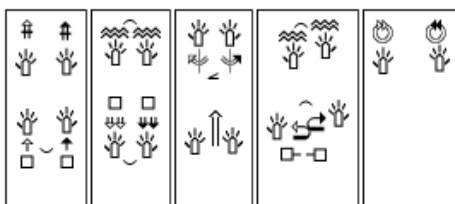


Figure 53 : Résultats de recherche du signe ASL « Raise » dans SignPuddle.

SW-Recherche permet d'obtenir de bien meilleurs résultats parce qu'il tient compte des positions des symboles corporels qui forment le signe et qu'il prend aussi en charge les relations d'association entre les symboles dynamiques et de mouvement, et les symboles corporels.

5.9 Améliorations et travaux futurs

La recherche des signes SW constitue un problème de recherche à part entière principalement à cause de la bidimensionnalité de ce système d'écriture impliquant une vaste combinatoire et aussi à cause de l'absence d'une grammaire de composition des symboles, basée sur un certain nombre de règles précises.

Ce travail a permis de mieux comprendre les spécificités de ce système d'écriture et aussi de proposer une solution au problème de recherche de signes SW.

Une évaluation de SW-Recherche par plusieurs personnes ayant une expertise à la fois en langues des signes et aussi en SW permettra d'apporter des améliorations et d'inclure d'autres spécificités de SW, comme par exemple des valeurs de seuils plus adaptés à des situations précises. Un apprentissage automatique pourra aussi être effectué pour affiner ces seuils. Ceci aura pour conséquence de réduire le fossé sémantique en incluant dans SW-Recherche plus de règles d'écriture de signes.

Concernant le fossé sémantique induit par les relations d'association, à cause de la proximité d'un symbole dynamique ou de mouvement avec plus d'un symbole manuel, ou la proximité d'un symbole de contact avec plus de deux segments corporels, on pourrait étudier la possibilité de permettre lors de l'étape de saisie d'associer les symboles de mouvement et les symboles dynamiques aux symboles de segments corporels leur correspondant. Il s'agit ici principalement de vérifier qu'avec cette solution, l'outil informatique n'impose pas de contraintes à l'utilisateur.

En ce qui concerne la distance, il sera intéressant de tester d'autres formules qui prennent en considération les spécificités de SW comme par exemple, considérer que la distance en pixels entre deux symboles qui se succèdent et qui appartiennent au même intervalle temporel est égale à 0 pour permettre de neutraliser l'impact du calcul de cette distance sur la distance Euclidienne puisque les distances entre les deux symboles dans les deux signes sont considérées identiques.

Par ailleurs, d'autres améliorations peuvent être envisagées pour prendre en compte les variabilités intra-personnelles. En effet, dans le cas de l'absence de résultats, une recherche de sous-signes ou de sur-signes peut fournir un résultat satisfaisant à l'utilisateur et l'orienter dans sa recherche. En effet, à cause des variabilités intra-personnelles expliquées dans le chapitre 2, deux utilisateurs peuvent utiliser des symboles différents pour noter le même signe. Dans beaucoup de cas, les signes de requête incluent tous les symboles du signe recherché, mais contiennent aussi, en plus, d'autres symboles. Le signe recherché est dans ce cas un sous-signes du signe requête. Dans le cas où le signe

requête contient une partie des symboles du signe recherché, on parle de recherche de sur-signes du signe requête. Cette option de trouver des sur-signes ou des sous-signes d'un signe donné est équivalente au correcteur d'orthographe dans les langues orales.

Conclusion Générale

Ce mémoire présente un modèle de représentation des relations spatiales et d'association pour le système SW. Ce modèle permet d'effectuer des recherches dans un dictionnaire de signes, en vue d'identifier les signes.

En effet, les variabilités introduites lors de l'écriture d'une variante donnée d'un signe SW constituent un problème qui empêche son identification. Les solutions proposées à ce problème de variabilité ne tiennent pas compte des spécificités de SW, c.-à-d. des relations spatiales et d'association, essentielles à la représentation du signe et de ce fait, ces solutions ne sont pas efficaces. De plus, SignPuddle, la seule application existante qui permet d'effectuer des recherches de signes similaires, ne prend pas en considération les relations spatiales et d'association, et par conséquent, les résultats de la recherche ont une faible précision.

Le modèle SW-string proposé, permet la modélisation des relations spatiales. Il se base sur le modèle de représentation des relations spatiales dans les images symboliques 2D-string qu'il enrichit avec des opérateurs spatiaux adaptés et avec les distances relatives entre les différents symboles.

Le logiciel SW-Recherche développé dans le cadre de ce travail a permis de mettre en œuvre ce modèle et en effectuant des recherches, les signes similaires sont extraits du dictionnaire de signes et retournés à l'utilisateur. SW-Recherche permet de retourner des signes similaires c.-à-d. des signes composés par les mêmes symboles, disposés de manière similaire et d'écarter d'autres signes même s'ils sont constitués par les mêmes symboles mais ne répondent pas aux contraintes spatiales.

Le taux d'erreur dans les résultats de la recherche de signes par SW-Recherche est acceptable. Les améliorations proposées dans le dernier chapitre permettront d'obtenir de meilleurs résultats et d'utiliser ce travail comme base d'un système de recherche de signes SW plus efficace.

Bibliographie

Aerts, S., Braem, B., Van Mulders, K., & De Weerdt, L. (2004). Searching SignWriting Signs. *Actes du Workshop RPSL, LREC 2004*, (pp. p79-81).

Allen, J. F. (1983). Maintaining knowledge about temporal intervals. *Commun. ACM* 26(11), 832–843.

Aznar, G. (2008). Informatisation d'une forme écrite de la langue des signes française. *Thèse de doctorat, Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT)*.

Aznar, G., & Dalle, P. (2005). Variations dans la représentation écrite d'un signe en Signwriting. *TALN 2005, Dourdan, 6-10 juin 2005*, 381-384.

Bergeron, L.-F. (2004). *Pertinence et forme d'un système d'écriture pour la LSQ*. Université du Québec à Montréal : Mémoire de Maitrise en linguistique.

Bianchini, C. (2012). *Analyse métalinguistique de l'émergence d'un système d'écriture des Langues des Signes : SignWriting et son application à la Langue des Signes Italienne*. Ph.D. thesis, Université de Paris 8 - Università degli Studi di Perugia.

Bouزيد, Y., & Jemni, M. (2014). TuniSigner: A virtual interpreter to learn SignWriting. *In Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, (pp. 601-605). Athens.

Center for Sutton Movement Writing. (s.d.). *SignBank Online Database*. Tiré de <http://www.signbank.org/>. Consulté le 09/09/2015.

Chang, , C., & Lee, S. (1991). Retrieval of similar pictures on pictorial databases. *Pattern Recognition* 24 (7), 675–680.

Chang, C. (1991). Spatial match retrieval of symbolic pictures. *Journal of Information Science and Engineering* 7(3), 405–422.

Chang, S.-K., Shi, Q.-Y., & Yan, C.-W. (1987). Iconic indexing by 2-D strings. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* 9(3),, 413–428.

- Cuxac, C. (1991). "L'éducation des sourds en France et le problème de l'accès à l'écrit". in A. Bentolila et al., *"La lecture, apprentissage, évaluation, perfectionnement"*, (pp. 255-258). Paris : Édition Nathan.
- Da Rocha, A., Dimuro, G., & De Freitas, J. (2004). A sign matching technique to support searches in sign language texts. *Actes du Workshop RPSL, LREC 2004*, (pp. p32-34).
- Da Rocha, C. A., & Dimuro, G. (2003). SignWriting and SWML : Paving the way to sign language processing. *Actes de TALN*. Batz-sur-Mer.
- Da Rocha, C. A., & Dimuro, G. P. (2001-a). A SignWriting-Based Approach to Sign Language Processing. *Gesture Workshop*. Londres (Royaume Uni).
- Da Rocha, C. A., & Dimuro, G. P. (2001-b, July). Supporting Deaf Sign Languages in Written Form on the Web. *The SignWriting Journal, Number 0, Article 1*.
- Egenhofer, M. J., & Franzosa, R. D. (1991). Point set topological relations. *International Journal of Geographical Information Systems* 5, 161–174.
- Hanke, T. (2004). HamNoSys - representing sign language data in language resources and language processing contexts. *LREC, Workshop proceedings : Representation and processing of sign languages* (pp. 1-6). Paris : In : Streiter, Oliver, Vettori, Chiara (eds).
- Huang, P., & Lee, C. (2004). Image Database Design Based on 9D-SPA Representation for Spatial Relations. *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering* 16(12), 1486–1496.
- Lee, S.-Y., & Hsu, F.-J. (1990). 2D C-string : a new spatial knowledge representation for image database systems. *Pattern Recognition* 23(10), 1077–1088.
- Lee, S.-Y.-C. Y.-W. (1992). Signature file as a spatial filter for iconic image database. *Journal of Visual Languages and Computing* 3, 373-397.

- Liddell, S. K., & Johnson, R. E. (1989). « American Sign Language : the phonological base ». *Sign Language Studies*, vol. 64, 195-277.
- Losson, O. (2000). *Modélisation du geste communicatif et réalisation d'un signeur virtuel de phrases en Langue des Signes Française*. Université des Sciences et Technologies de Lille. Thèse de Doctorat.
- Moody, B. (1986). *La langue des signes, tome 2*. Paris: Éditions Ellipses.
- Papadogiorgaki, M., Grammalidis, N., Markis, L., & Strintzis, M. (2006). Gesture Synthesis from sign language Notation using MPEG-4 humanoid animation parameters and inverse kinematics. *Intelligent Environments, 2006. IE 06. 2nd IET International Conference on (Volume:1)* (pp. 151-160). Athens: IET.
- Prillwitz, S., & Zienert, H. (1987). HamNoSys. Hamburg Notation System for Sign Languages. An introduction. Hamburg : Zentrum für Deutsche.
- Roald, I. (2004). Making Dictionaries of Technical Signs : from Paper and Glue through SW-DOS to SignBank. *Actes du Workshop RPSL, LREC*. 75-78.
- SignPuddle Online. (2004). Tiré de <http://www.signbank.org/signpuddle/>, consulté le 09/09/2015.
- Slevinski, S. (2007). *Binary SignWriting*. Tiré de <http://www.signbank.org/swis/bswref.html?bsw=>, consulté le 12/06/2015.
- Stokoe, W. (1960). Sign language structure : An outline of the visual communication systems of the American deaf. *Occasional Paper 8*, (pp. 21-28). University of Buffalo.
- Sutton, V. (1996). SignWriting for Sign Languages, tiré de : <http://www.signwriting.org>. Consulté le 12/06/2015.
- Sutton, V. (2002). *Lessons in SignWriting*, tiré de : <http://www.signwriting.org>. Consulté le 12/06/2015.
- Sutton, V. (2004). *"International Movement Writing Alphabet"*, tiré de : <http://www.signwriting.org>. Consulté le 12/06/2015.
- Sutton, V., & Gleaves, R. (1995). *SignWriter - The world's first sign language processor*, tiré de: <http://www.signwriting.org>. Consulté le 12/06/2015.

Wikipédia, l. l. (2001). *SignWriting*. tiré de: <http://www.wikipedia.com>. Consulté le 09/09/2015.