



HAL
open science

Modélisation de la Langue des Signes Française : Proposition d'un système à compositionnalité sémantique

Mohammed Hadjadj

► **To cite this version:**

Mohammed Hadjadj. Modélisation de la Langue des Signes Française : Proposition d'un système à compositionnalité sémantique. Modélisation et simulation. Université Paris Saclay (COMUE), 2017. Français. NNT : 2017SACLS560 . tel-02002364

HAL Id: tel-02002364

<https://theses.hal.science/tel-02002364>

Submitted on 31 Jan 2019

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

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

Modélisation de la Langue des Signes Française : Proposition d'un système à compositionnalité sémantique

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay
préparée à l'université Paris-Sud

n°580 : sciences et technologies de l'information et de la communication
(STIC). Spécialité de doctorat: Informatique

Thèse présentée et soutenue à Orsay, le 17 novembre 2017, par

Mohamed Nassime Hadjadj

Composition du Jury :

François Yvon Professeur (Université Paris Sud)	Président
Gilles Falquet Professeur associé (Université de Genève)	Rapporteur
Laurence Meurant Professeure (Université de Namur)	Rapporteuse
Annelies Braffort Directrice de recherche CNRS (LIMSI)	Directrice de thèse
Michael Filhol Chargé de recherche CNRS (LIMSI)	Encadrant scientifique
Delphine Battistelli Professeure (Université Paris Nanterre)	Examinatrice

Remerciements

« À toi qui ne pourras jamais lire ce livre. »
Albert Camus

À ma directrice de thèse Annelies et mon encadrant Michael pour m'avoir donné la chance d'effectuer cette thèse.

À l'ensemble des limsiens pour m'avoir bien accueilli et surtout pour m'avoir bien soutenu.

À l'ensemble de ma famille et plus particulièrement ma mère pour son soutien permanent.

À mes amis Yacine, Amine, Hamdi et Hafid pour leur soutien et pour tous les bons moments passés ensemble ces dernières années.

Table des matières

Liste des figures	4
Liste des tableaux	6
Liste des sigles utilisés	7
1 Introduction	8
2 La langue des signes française.....	11
2.1 Aspects historiques	11
2.1.1 Les LS de l'Antiquité à l'Âge d'or.....	11
2.1.2 Le congrès de Milan	13
2.1.3 La LSF aujourd'hui	15
2.2 Premières approches : une organisation linguistique similaire à celle des langues vocales.....	16
2.2.1 Le niveau phonologique en LS.....	16
2.2.1.1 Une analyse structuraliste pour les LS	17
2.2.1.2 La composition des signes en LS.....	19
2.2.1.3 L'aspect séquentiel des segments	21
2.2.2 Quelle phonétique pour les LS ?	23
2.2.2.1 Le système HamNoSys	23
2.2.2.2 Le système SignWriting.....	25
2.2.3 Le lexique en LS	26
2.2.3.1 L'unité signée comme signe linguistique	26
2.2.3.2 La catégorie linguistique du signe	28
2.2.4 Le niveau syntaxique.....	29
2.2.5 Le niveau prosodique	30
2.3 Vers une prise en compte des spécificités des LS	31
2.3.1 Une dimension sémantique au niveau phonologique.....	32
2.3.1.1 Conciliation entre double articulation et iconicité	32
2.3.1.2 Inversement de la double articulation	33
2.3.1.3 Une distinction trait/phonème non évidente	34
2.3.2 Le contour du signe lexical	35
2.3.3 Une dimension séquentielle non évidente	37
2.4 Bilan.....	40
3 Modélisation des LS	42
3.1 Les grammaires à base de règles	42
3.1.1 La grammaire générative et transformationnelle	43
3.1.2 Les grammaires d'arbres adjoints (TAG).....	44
3.1.3 La grammaire lexicale-fonctionnelle (LFG) :	47
3.1.4 La grammaire syntagmatique guidée par les têtes (HPSG).....	48
3.1.5 Les grammaires applicatives et cognitives.....	49
3.2 L'application des grammaires à base de règles sur les LS.....	51

3.2.1	Le début des travaux en TALS.....	51
3.2.2	La génération des LS à partir d'une grammaire de type TAG.....	52
3.2.3	La génération des LS à partir d'une grammaire LFG.....	53
3.2.4	La génération des LS à partir d'une grammaire HPSG.....	54
3.2.5	La modélisation des LS à partir d'un modèle sémantico-cognitif.....	55
3.3	L'approche statistique.....	56
3.3.1	Le projet “Translating from German SL”.....	56
3.3.2	Le projet SignSpeak.....	57
3.4	Les limites des théories conçues initialement pour les langues vocales.....	59
3.4.1	Les limites des théories linguistiques dérivationnelles.....	59
3.4.2	Les difficultés de la modélisation des LS à partir d'approches statistiques.....	59
3.5	Des approches dédiées.....	60
3.6	Bilan.....	61
4	Présentation de la méthodologie.....	63
4.1	Notions fondamentales.....	63
4.1.1	Lien forme-fonction.....	63
4.1.2	Règle de production.....	64
4.2	Méthodologie.....	66
4.3	Description de la forme.....	68
4.3.1	Les choix d'annotation.....	68
4.3.2	Le logiciel d'annotation retenu.....	71
4.4	Formalisation des règles.....	72
4.4.1	Le formalisme AZee.....	72
4.4.2	L'animation du formalisme AZee.....	75
4.5	Bilan.....	77
5	Études et résultats.....	78
5.1	Les corpus retenus.....	78
5.1.1	Le corpus “des 40 brèves”.....	79
5.1.2	Le corpus “ websourd AFP 2007”.....	81
5.2	Application de la méthodologie.....	81
5.2.1	Expression de la durée.....	81
5.2.1.1	Première itération D.....	82
5.2.1.2	Synthèse de l'étude D.....	92
5.2.2	Expression de la localisation géographique.....	94
5.2.2.1	Première itération L.....	94
5.2.2.2	Synthèse de l'étude L.....	99
5.2.3	La juxtaposition en tant que forme.....	99
5.2.3.1	Première itération J.....	100
5.2.3.2	Synthèse de l'étude J.....	104
5.3	Discussion.....	106
5.4	Bilan.....	108
6	Les règles AZee comme système.....	109

6.1	De la règle à un système	109
6.1.1	La récursivité des règles	110
6.1.2	La couverture des règles.....	114
6.1.3	Une représentation sémantique plutôt qu'un ordre dérivationnel.....	114
6.2	Vers une grammaire AZee.....	115
6.2.1	Catégorisation des règles.....	115
6.2.1.1	Utilisation terminale des règles.....	116
6.2.1.2	Utilisation non terminale des règles.....	117
6.2.2	Des contraintes plutôt que des règles de réécriture	119
6.2.2.1	Les grammaires de propriétés	119
6.2.2.2	Perspective d'une grammaire AZee à base de contraintes.....	121
6.3	Bilan.....	123
	Conclusion et perspectives	124
	Bibliographie.....	127
	Annexes	137
	Annexe 1 : alphabet dactylologique de la LSF.....	137
	Annexe 2 : le formalisme AZee	138
	Annexe 3 : le corpus des 40 brèves	142
	Annexe 4 : représentation AZee de l'unité pointage.....	147

Liste des figures

Figure 2.1: Description du signe BONJOUR à partir des paramètres définis par Stokoe	18
Figure 2.2 : Les signes mobilisant les 2 mains (ÉCOLE, TRAVAILLER, SOCIÉTÉ), tirés de (Moody et al., 1997).....	19
Figure 2.3 : Les configurations manuelles les plus fréquentes en ASL (Battison, 1974)	20
Figure 2.4 : Les signes CROIRE, PENSER, SE JOINDRE en ASL (Liddell, 1984)	22
Figure 2.5: Description HamNoSys du signe HAMBOURG en DGS (Hanke, 2010).....	24
Figure 2.6 : Différentes positions du pouce en HamNoSys (Hanke, 2004)	24
Figure 2.7: Description de l'unité SOURD en SignWriting	25
Figure 2.8: Les configurations en SignWriting (Sutton, 1995).....	26
Figure 2.9: Les orientations en SignWriting (Sutton, 1995).....	26
Figure 2.10: CONTENT – MAL AU CŒUR en LSF.....	28
Figure 2.11 : CHAISE – S'ASSEOIR en LSF.....	28
Figure 2.12 : Le principe de la double articulation en LV et en LS (Boutora, 2008)	35
Figure 2.13 : L'unité signée BALLON dans une forme de citation (a) ; son annotation dans un contexte donné (b) (Filhol, 2008).....	36
Figure 2.14 : Exemple d'unité de pointage	37
Figure 2.15 : Expression de « derrière la pyramide, il y a ... » en LSF (Corpus MOCAP1) ...	38
Figure 2.16 : Les espaces pré-semantisés selon Millet (1997).....	38
Figure 2.17: Transfert de taille et de forme, exemple : [FLEUR] (Verlaine)	39
Figure 2.18 : Transfert situationnel, exemple : position d'une voiture par rapport à un feu de circulation (Verlaine)	39
Figure 2.19 : Transfert personnel, exemple : les traits d'un chien (Verlaine)	40
Figure 3.1 : L'arbre de dérivation de la structure de surface “Pierre lit un livre”.....	44
Figure 3.2 : Opération de substitution	45
Figure 3.3 : Opération d'adjonction.....	46
Figure 3.4 : Arbre dérivé de la structure « Pierre travaille beaucoup »	46
Figure 3.5: f-structure du syntagme Pierre.....	47
Figure 3.6: Une description LFG pour « Pierre aime Marie »	48
Figure 3.7: Exemple d'un schéma de règles (Blache, 2000)	49
Figure 3.8 : Architecture de la GAC (Lejeune, 2004).....	50
Figure 3.9 : Architecture de TEAM PROJECT (Zhao et al, 2000).....	52
Figure 3.10 : Architecture du projet The ASL Workbench (Speers, 2001)	53
Figure 3.11 : Architecture du projet VISICAST (Marshall et Sáfár, 2002).....	54
Figure 3.12: Architecture du projet de traduction “Translating from German SL “ (Bauer et al,1999).....	57
Figure 3.13: Les différents composants du projet SignSpeak (Dreuw et al, 2010).....	57
Figure 3.14: Système de reconnaissance d'une unité signée (Dreuw et al, 2010)	58
Figure 3.15: Exemple d'une représentation C-nodes (Filhol et Braffort, 2016).....	60
Figure 3.16: Exemple d'une représentation P/C (Filhol et Braffort, 2016)	61
Figure 4.1: Description d'une forme	64
Figure 4.2: Exemple d'une règle de production.....	66
Figure 4.3: Illustration de la méthodologie	68
Figure 4.4: Les attributs de la piste sourcils, tiré de (Chételat, 2010).....	69
Figure 4.5: Illustration du logiciel ILex (Hanke et Storz, 2008).....	71
Figure 4.6: Architecture globale de KAZOO (Braffort et al, 2016)	76
Figure 5.1: Capture d'une vidéo du corpus “des 40 brèves”	81

Figure 5.2: Forme du groupe D.1	82
Figure 5.3: Forme de la main dominante dans le groupe D.1	83
Figure 5.4: Forme du groupe D.2	83
Figure 5.5: Forme de la main dominante et de la main dominée dans le groupe D.2.....	83
Figure 5.6: Forme du groupe D.3	84
Figure 5.7: Forme du groupe D.4	84
Figure 5.8: Forme de la main dominante et de la main dominée dans le groupe D.4.....	84
Figure 5.9: Forme du groupe D.5	85
Figure 5.10: Forme de la main dominante dans le groupe D.5	85
Figure 5.11: Forme du groupe D.6	85
Figure 5.12: Forme de la main dominante et de la main dominée dans le groupe D.6.....	86
Figure 5.13: Forme de la règle de production D.1.1	87
Figure 5.14: Forme de la règle de production D.2.1	88
Figure 5.15: Forme de la règle de production D.3.1	89
Figure 5.16: Forme de la règle de production D.4.1	90
Figure 5.17: Forme de la règle de production D.5.1	91
Figure 5.18: Forme de la règle de production D.6.1	91
Figure 5.19 : Forme du groupe L.1	94
Figure 5.20: Pointage	95
Figure 5.21: Articulation des deux mains	95
Figure 5.22: Localisation.....	95
Figure 5.23: Forme du groupe L.2	95
Figure 5.24: Forme du groupe L.3	96
Figure 5.25: PRÈS.....	96
Figure 5.26: Forme de la règle J.1.1.1	102
Figure 5.27: Forme de la règle de production J.1.2.1.....	103
Figure 5.28: Forme de règle de production J.1.3.1	104
Figure 5.29: JUSQU'À	106
Figure 6.1: Forme de la structure “ la ville touristique Dahab ” en LSF	110
Figure 6.2 : Articulation manuelle de la structure “ la ville dont la puissance touristique est Dahab” en LSF	111
Figure 6.3: Arbre fonctionnel “ la ville touristique Dahab ” en LSF.....	112
Figure 6.4: Arbre fonctionnel d’une brève complète	113
Figure 6.5: Forme de la règle PÈRE	113
Figure 6.6: Forme de la règle IMMEUBLE dans un contexte donné	116
Figure 6.7: Règle « objectivité »	118

Liste des tableaux

Tableau 2.1: Contacts admis (+) et contacts non admis (-) (Battison et al., 1975)	21
Tableau 2.2 : Description de la structure « les cheveux là sur la table sont à Pierre. » (Risler, 2000).....	30
Tableau 4.1: Schéma d'annotation	70
Tableau 5.1: Synthèse de l'étude portant sur la durée.....	93
Tableau 5.2: Synthèse de l'étude portant sur la localisation géographique	99
Tableau 5.3: Synthèse de l'étude portant sur la juxtaposition entre les items	105
Tableau 6.1: Classification des unités signées (Johnston et Schembri, 2010)	118
Tableau 6.2: Description d'une phrase à partir des grammaires de propriétés (Blache, 2001)	121

Liste des sigles utilisés

ASL : Langue des signes américaine

BSL : Langue des signes britannique

DGS : Langue des signes allemande

GAC : Grammaire Applicative et Cognitive

GP : Grammaires de propriétés

HPSG : Grammaire syntagmatique guidée par les têtes

LS : Langues signées

LSF : Langue des signes française

LV : Langues vocales

LSQ : Langue des signes québécoise

LFG : Grammaire lexicale-fonctionnelle

SW : SignWriting

TAG : Grammaires d'arbres adjoints

TAL : Traitement automatique des langues

TALS : Traitement automatique des langues signées

1 Introduction

La reconnaissance de la langue des signes française (LSF), en tant que langue à part entière, par la loi de 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, représente un progrès sans précédent dans son histoire. Le texte de la loi prévoit également l'assurance d'un enseignement en LSF ainsi qu'un accès à l'information pour la communauté sourde dans les établissements publics.

Une des solutions envisageables pour répondre à ces attentes est l'appui sur les avancées actuelles en traitement automatique des langues (TAL) afin de développer des outils informatiques permettant de faciliter la communication entre sourds et entendants. Cette démarche peut se concrétiser à travers divers projets tels que la génération de la LSF par l'animation d'un signeur virtuel, sa reconnaissance automatique ou encore le développement d'outils pédagogiques pour les sourds.

La performance de ces outils informatiques nécessite une modélisation linguistique fine de la LSF. Contrairement aux langues vocales (LV), langues audio-phonatoires, les langues signées (LS) sont des langues visuo-gestuelles qui permettent la transmission d'un message par les gestes. Cette différence de modalité peut nécessiter une représentation linguistique des LS qui dépasse les modèles initialement conçus pour décrire le fonctionnement des langues vocales, modèles considérés ensuite comme communs à l'ensemble des langues.

Ces dernières années, plusieurs travaux en traitement automatique des langues signées (TALS) ont été effectués en vue de proposer des modèles formels pour divers projets d'application. Il s'agit, pour la plupart, d'études qui suivent ou adaptent aux LS l'organisation linguistique telle qu'elle est connue dans les langues vocales.

Le présent travail a pour objectif de modéliser la LSF en prenant appui sur une approche linguistique qui donne la possibilité d'inclure l'ensemble des spécificités liées à la modalité visuo-gestuelle que l'on peut observer dans les corpus. Dans notre démarche, nous proposons une représentation qui évite toute supposition sur le fonctionnement linguistique des LS.

Le travail effectué dans cette thèse s'inscrit dans le cadre des problématiques liées à la linguistique des LS et à leur modélisation informatique. Ainsi, nous présentons, dans un premier temps, les différentes approches linguistiques appliquées pour décrire les LS, ainsi que les différents modèles formels destinés à les modéliser. Nous exposons dans un second temps, les différentes parties de notre contribution pour générer la LSF. Ainsi, notre thèse adopte la structure suivante :

Le chapitre 2 présente tout d'abord les événements qui ont marqué l'histoire des LS et qui ont eu probablement par la suite un impact sur les premières études linguistiques. Nous présentons par la suite les différentes approches dont le but est la description linguistique des LS.

Le chapitre 3 porte sur les différentes approches visant à modéliser les LS. Nous présentons, en premier lieu, les différentes théories linguistiques ainsi que leur application sur les LS. Nous exposons ensuite d'autres travaux ayant pour objectif de générer des LS à partir des approches statistiques. Ce chapitre s'achève sur une présentation d'un modèle dédié aux LS.

Le chapitre 4 traite de la démarche générale sur laquelle repose notre projet de génération de la LSF. Après avoir défini quelques notions fondamentales de notre approche, nous présentons la méthodologie sur laquelle nous nous appuyons pour identifier, à partir d'études de corpus, des règles permettant de formaliser le fonctionnement linguistique de la

LSF. Nous exposons ensuite les choix effectués lors de l'annotation des corpus ainsi que les différentes parties à travers lesquelles passe le processus de la génération.

Le chapitre 5 est destiné à l'application de la méthodologie afin de formaliser quelques fonctionnalités en LSF. Après la présentation des corpus sur lesquels se fonde l'ensemble des études effectuées dans le cadre de cette thèse, nous présentons une étude portant sur l'expression de la durée en LSF. Nous nous intéressons ensuite à la formalisation de quelques types de localisation en LSF. Nous terminons ce chapitre par une étude conduisant à formaliser quelques relations de juxtaposition entre les unités signées.

Enfin, le chapitre 6 présente le fonctionnement des règles identifiées comme système à partir duquel il est possible de générer un énoncé tout entier. Nous concluons ce chapitre par une perspective de développement d'une grammaire formelle pour la LSF à partir de ce système.

2 La langue des signes française

Les langues des signes (LS), actuellement reconnues comme des langues à part entière uniquement par certains pays, ont eu une évolution particulière, marquée notamment par leur interdiction durant plusieurs périodes de l'Histoire. Dans ce chapitre, nous exposons, dans un premier temps, les événements les plus marquants de l'histoire des LS qui ont eu, tout d'abord, un impact sur leur description linguistique, puis sur leur traitement automatique. Dans un second temps, nous présentons les différentes approches linguistiques ayant été proposées pour décrire leur fonctionnement.

2.1 Aspects historiques

2.1.1 Les LS de l'Antiquité à l'Âge d'or

Il est difficile de décrire avec précision la situation des sourds ainsi que la pratique des LS durant l'Antiquité. La majorité des études portant sur cette période que nous avons pu consulter s'appuie sur les réflexions des philosophes de l'époque tels que Platon et Aristote. Le premier, dans sa théorie du "logos", terme utilisé pour définir à la fois la parole et la pensée, qualifie la parole, exclusivement vocale, comme étant le seul moyen pour accéder à la pensée (Laurent, 2011). Les sourds, en utilisant la modalité visuo-gestuelle afin de s'exprimer, sont alors considérés comme des êtres privés d'intelligence et de raisonnement.

Dans la même perspective, Aristote qualifie l'homme comme le seul être vivant à posséder la capacité du "logos". Même s'il observe le langage signé des personnes sourdes (Aristote, IV siècle av. J-C, cité par Saint-Loup, 1989), il les classe dans une catégorie en dessous de celle des hommes, déterminée par la faculté de la parole et le sens de l'ouïe. Les sourds sont plutôt liés à la catégorie des êtres utilisant uniquement la vue, à savoir celle des animaux.

Durant le Moyen Âge, le statut des sourds et la pratique des langues des signes sont mieux acceptés que pendant l'Antiquité. L'influence de l'Église catholique sur la société a favorisé l'intégration des sourds. Un tel intérêt de l'Église peut se justifier, comme le commente Aude de Saint-Loup (1989), par « *de la compassion [...] ou bien encore, par un laborieux effort de conciliation chrétienne* » (Saint Loup, 1989). À cette époque, on recense plusieurs sourds qui travaillent comme bouchers, ouvriers, voire comme artistes célèbres, tels que le peintre Bernardino di Betto Biagi ayant participé à la construction de la Chapelle Sixtine.

Ce n'est qu'à la Renaissance, notamment pendant le siècle des Lumières, que les langues des signes sont considérées comme des langues d'enseignement. Nous trouvons, dans ce sens, des écrits datant de cette époque qui portent un regard positif sur l'éducation des sourds. Cardan écrit : « *Nous pouvons donc mettre un sourd et muet en état d'entendre en lisant, et de parler en écrivant.* » (Presneau, 1989). L'éducation des enfants sourds est basée sur une méthode oraliste : apprendre aux enfants sourds à oraliser de manière vocale en utilisant les gestes manuels comme moyen de communication. Cette méthode est ensuite critiquée dans les temps modernes, car elle s'appuie sur les LS comme outil de communication et non pas comme langue d'enseignement.

Il faudra attendre l'arrivée de l'Abbé de l'Épée (1712-1789), un diacre, pour considérer les langues des signes comme des langues d'enseignement pour tous les sourds. Sa méthode consiste à ajouter aux signes utilisés par les sourds en France d'autres signes appelés méthodiques, qu'il invente lui-même pour retrouver l'organisation grammaticale du français écrit, tels que les déterminants, le genre etc.

« *dès lors le mouvement de l'index droit, qui s'étend et se replie plusieurs fois en forme de crochet, devient le signe raisonné que nous donnons à tout article. Nous en exprimons le genre en portant la main au chapeau, pour l'article masculin le, et à l'oreille [...] pour l'article féminin la.* » (L'Épée cité par Berthier, 1852)

Cependant, les caractéristiques des langues des signes telles que l'utilisation de l'espace et des gestes non manuels rendent inutiles les signes méthodiques. L'Abbé de L'Épée meurt en 1789, laissant derrière lui des sourds instruits. Sa méthode devient le modèle dans l'éducation des enfants sourds en Europe dès la fin du 18ème siècle.

Bebian (1789-1839) reste la référence de cette nouvelle école qui met en avant l'aspect naturel des langues des signes. Enseignant, puis responsable de l'institut national des jeunes sourds à Paris, il fait l'impasse sur les signes méthodiques. Il base son enseignement uniquement sur les signes naturels de la langue, donnant ainsi naissance à l'éducation bilingue (l'apprentissage de la langue des signes et du français écrit). Il est considéré comme le premier enseignant entendant à penser que les langues des signes sont des langues naturelles qui permettent de tout exprimer. Il dit ainsi que la LSF « *...forme un langage beaucoup plus riche qu'on ne le croit communément ; il suffit à tous les besoins de la pensée, et mérite le nom de langage naturel* ». (Bébian, 1817, cité par Bernard, 1999).

Bébian ne s'arrête pas à l'utilisation de la langue des signes française comme langue d'enseignement, il tente de la décrire en vue de créer le premier dictionnaire bilingue LSF/français. Il classe alors les différents aspects de la langue tels que les articulateurs manuels, les points physiologiques, etc. Cependant, ses réformes effectuées à l'institut de Paris et son soutien aux enseignants sourds le conduisent à être exclu de son poste, laissant place, de nouveau, à l'école oraliste.

2.1.2 Le congrès de Milan

Le congrès de Milan, en 1880, reste sans aucun doute l'événement qui a eu le plus d'influence sur l'éducation des sourds et la pratique des LS. Les décisions radicales prises lors de ce congrès ont eu un impact sur l'éducation des enfants sourds ainsi que sur la description linguistique des LS, et ce, jusqu'à nos jours.

L'objectif du congrès est de revoir le système éducatif des enfants sourds. Il réunit

une forte majorité entendante optant *a priori* pour l'école oraliste. La décision la plus importante de ce congrès est l'interdiction de l'usage de la langue des signes dans l'enseignement aux enfants sourds. Les intervenants expliquent cette réforme par l'apport de la méthode oraliste pour assurer une meilleure intégration sociale des sourds dans la société, mais ils citent aussi d'autres raisons. D'un point de vue religieux, les gestes sont définis comme un langage exclusivement passionnel. Le président du congrès, l'Abbé Tarra, souligne : « *La parole n'exaltant pas le sens, ne fomentant pas la passion comme le fait le langage fantastique des signes, elle élève l'esprit beaucoup plus naturellement* » (l'Abbé Tarra cité par Cuxac, 1983). Dans son discours, pour expliquer l'avantage d'utiliser la méthode oraliste d'un point de vue médical, il ajoute : « *Le sourd-muet [...] n'a en quelque sorte qu'une respiration incomplète [...] en les habituant à la respiration provoquée par l'émission de la parole, ce n'est donc pas seulement la parole qu'on leur donne, c'est la vie.* »

Les décisions prises lors de ce congrès ont de lourdes conséquences sur la communauté sourde. La personne sourde est vue comme une personne malade qui peut uniquement être guérie par une rééducation et une procédure médicale. En France, la LSF a été interdite dans les établissements scolaires pour enfants sourds durant plus d'un siècle.

À partir des années 1960, un réveil de la communauté sourde fait surface. On constate une prolifération d'associations et d'événements artistiques en lien avec la communauté sourde et les langues des signes. Les responsables français présents au congrès de Washington en 1975 sont impressionnés par les avancées du système bilingue américain en matière d'éducation et d'accessibilité à l'information (traduction simultanée des journaux télévisés, possibilité de passer des examens scolaires en langue des signes etc.). Convaincus par l'apport de la méthode bilingue, ils travaillent pour changer la situation de la communauté sourde en France et pour accorder à la LSF un statut institutionnel d'une langue à part entière.

2.1.3 La LSF aujourd'hui

En France, ces dernières années ont connu une évolution considérable au niveau juridique dans la valorisation du statut de la LSF. À partir de 1991, la loi Fabius donne la possibilité aux parents d'enfants sourds de choisir entre une éducation bilingue et une éducation oraliste. La LSF est reconnue comme une langue par l'article. L. 312-9-1¹ de la loi du 11 février 2005 :

« Art. L. 312-9-1. - La langue des signes française est reconnue comme une langue à part entière. Tout élève concerné doit pouvoir recevoir un enseignement de la langue des signes française. Le Conseil supérieur de l'éducation veille à favoriser son enseignement. Il est tenu régulièrement informé des conditions de son évaluation. Elle peut être choisie comme épreuve optionnelle aux examens et concours, y compris ceux de la formation professionnelle. Sa diffusion dans l'administration est facilitée. »

Bien que l'application de ces lois vise à faciliter l'intégration sociale et scolaire de la communauté sourde, les services d'interprètes, dans les institutions publiques, restent insuffisants pour prendre en charge leurs besoins. De plus, peu de chaînes de télévision et de sites internet intègrent une politique ayant pour but de rendre l'information accessible aux sourds.

Notre thèse s'inscrit dans un projet de modélisation de la LSF afin de rendre l'information accessible à la communauté sourde en proposant un outil de synthèse par l'animation d'un signeur virtuel.

¹<https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006071191&idArticle=LEGIART1000006524761>

2.2 Premières approches : une organisation linguistique similaire à celle des langues vocales

Les premières études linguistiques sur les LS dans les années 60 ont une visée universaliste qui considère que la différence de modalité joue un rôle mineur dans la structure cognitive du langage humain. Ainsi, l'objectif est de rapprocher le fonctionnement des LS de celui des langues vocales afin de montrer leur statut de langues naturelles à part entière. Cette approche permet leur reconnaissance linguistique et jouera, par la suite, un rôle important dans leur reconnaissance institutionnelle et juridique. À partir des années 90, une nouvelle approche met l'accent sur l'aspect sémantique observé dans les unités de bas niveau, mais également sur le contour du signe et l'organisation de l'énoncé en LS. Finalement, cette démarche finit par mettre en question les universaux du langage, considérés comme des principes partagés par l'ensemble des langues naturelles.

Dans cette partie, nous présentons des descriptions linguistiques des LS reposant sur des modèles développés initialement pour décrire les langues vocales. Ces descriptions considèrent une unité signée comme l'équivalent du mot, décomposable en unités de bas niveau non porteuses de sens et remplissant une fonction grammaticale dans une structure de haut niveau. Étant donné que l'ensemble des études effectuées dans ce sens respectent une organisation linguistique comme celle appliquée sur les langues vocales, nous les exposons dans ce chapitre par niveau d'analyse à savoir : le niveau phonétique, phonologique, lexical, syntaxique, etc. Nous commençons par présenter le niveau phonologique, le niveau phonétique sera étudié ultérieurement, notamment dans des travaux concernant la modélisation informatique des LS.

2.2.1 Le niveau phonologique en LS

La première étude en linguistique moderne portant sur les LS est réalisée par Stokoe

en 1960. Dans l'intention de créer un dictionnaire pour la langue des signes américaine (ASL) ayant comme entrée les constituants d'une unité signée, il s'inspire des travaux de Bèbian (1817) pour définir les composantes minimales d'une unité. Ainsi, dans le cadre structuraliste des années 1960, Stokoe rapproche le fonctionnement de l'ASL de celui des langues vocales. L'unité signée est alors nommée "Kineme", considérée comme l'équivalent du morphème, unité minimale porteuse de sens. Cette unité est constituée de "Cheremes" ou phonèmes gestuels, unités minimales capables de produire un changement de sens, définies par le biais de paires minimales². Les études qui succèdent aux travaux de Stokoe s'inscrivent dans la même perspective en essayant d'enrichir l'analyse phonologique et de prendre en compte de nouveaux phénomènes phonologiques déjà observés dans les langues vocales.

2.2.1.1 Une analyse structuraliste pour les LS

Dans son modèle, Stokoe (1960) décrit le signe selon 3 paramètres nécessaires et suffisants qu'il nomme aspects³: la configuration de la main pendant la réalisation du signe, son emplacement et la direction de son mouvement. Il définit ainsi une liste de phonèmes :

- 12 emplacements où le signe peut être réalisé, appelés TAB "tabula". Ils désignent la position de la main au début de la production de l'unité ;
- 19 configurations manuelles inventoriées *a priori* nommées DEZ "dezignator". Elles représentent la forme de la main pour réaliser une unité, par exemple : « main plate » ou « forme V » ;
- 24 mouvements qu'il qualifie de SIG "signation", décrivant la direction et la vitesse de la main.

À partir de ce regroupement, Stokoe définit la règle TDs pour décrire tout signe en

²Deux unités qui ne se distinguent que par un seul phonème forment une paire minimale.

³Selon Miller (2000), Stokoe préfère la notion d'aspect sur la notion de paramètre, jugée plus rigide et à connotation mathématique.

ASL : un signe est effectué dans un emplacement T, avec une configuration manuelle D en réalisant un mouvement s (figure 2.1).

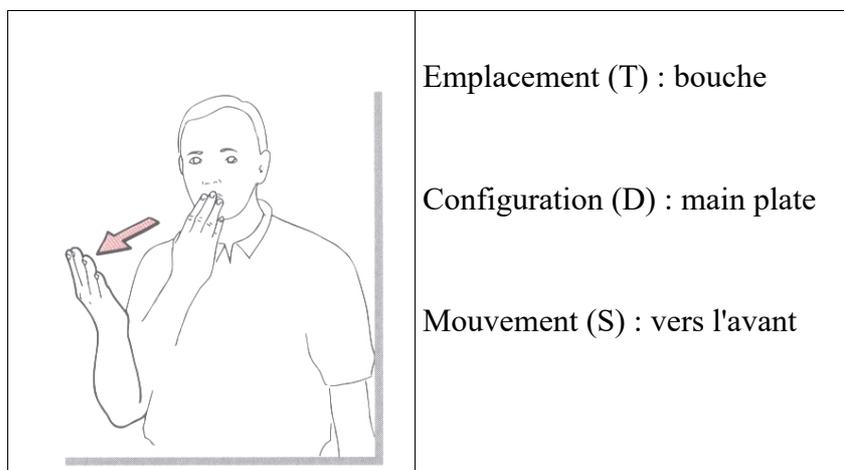


Figure 2.1: Description du signe BONJOUR à partir des paramètres définis par Stokoe

De nombreuses études suivent la démarche de Stokoe dans la tentative de couvrir d'autres catégories phonémiques complexes liées aux LS, tout en restant dans une démarche de rapprochement du système phonologique des langues vocales. Battison (1974) ajoute un quatrième paramètre : l'orientation de la paume de la main. Même si ce paramètre permet d'avoir quelques paires minimales, notamment en ASL, il est considéré dans certaines études comme inclus dans des paramètres déjà existants. Friedman (1977) enrichit, à son tour, l'analyse structurale réalisée par Stokoe en proposant un nouvel inventaire de phonèmes gestuels, constitué de 29 configurations manuelles au lieu de 19. Cependant, la majorité des travaux ont plutôt comme référence l'inventaire de Stokoe (Boutora, 2008). D'autres études (Klima et Bellugi, 1979) proposent une classification de paramètres selon leur importance dans la construction des signes. Ils qualifient les paramètres définis par Stokoe de majeurs. À cela, s'ajoutent d'autres paramètres mineurs tels que le contact entre les deux mains et l'orientation de la main.

Même si la mimique faciale se manifeste, dès le début des analyses structuralistes, comme un élément linguistique (Stokoe, 1960 ; Baker, 1976), elle n'apparaît pas comme un paramètre phonologique susceptible de créer des paires minimales. L'expression du visage et

d'autres gestes non manuels sont considérés aux niveaux morphosyntaxique et prosodique des LS.

2.2.1.2 La composition des signes en LS

À l'image de la description des langues vocales, où une composition syllabique est définie pour chaque langue, de nombreuses études en LS proposent des modèles de composition à base de contraintes phonotactiques. Selon Boutora (2008), la constitution d'un signe, en LS, pourrait comporter au moins une configuration manuelle et au plus deux. Cette contrainte permettrait d'écarter les unités signées dactylogologiques (Annexe 1) du système linguistique des LS. Dans la même perspective, en étudiant les signes qui utilisent les deux mains, Battison (1974) recense trois types d'unités signées.

- Les deux mains bougent simultanément, cas du signe ÉCOLE (figure 2.2 gauche) ;
- Une seule main bouge, la deuxième ayant cependant la même configuration que la première, cas du signe TRAVAILLER (figure 2.2 centre) ;
- Une seule main bouge, la deuxième n'ayant pas la même configuration que la première, cas du signe SOCIÉTÉ (figure 2.2 droite)

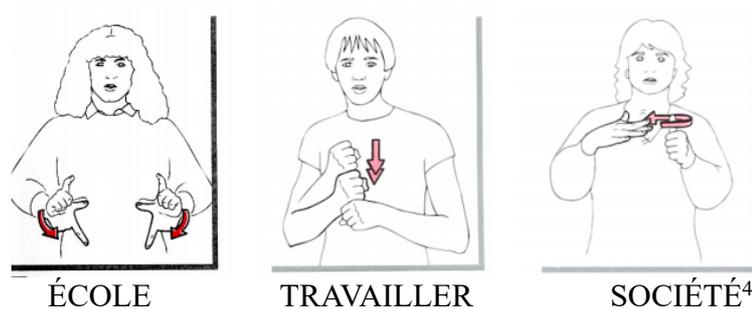


Figure 2.2 : Les signes mobilisant les 2 mains (ÉCOLE, TRAVAILLER, SOCIÉTÉ), tirés de (Moody et al., 1997)

⁴ Les illustrations de signes en LSF sont tirées de dictionnaires d'IVT (Moody et al, 1997).

À partir de ces observations, Battison définit deux contraintes phonotactiques pour produire des signes mobilisant les deux mains. Si celles-ci bougent en même temps, il s'agit d'une contrainte de symétrie, elles doivent partager la même configuration, le même mouvement, le même lieu d'articulation, ainsi que la même orientation. Dans le cas où les deux mains ont deux configurations manuelles différentes, il s'agit d'une contrainte de dominance. Seule la main dominante⁵ effectue le mouvement, la main dominée maintient une des configurations les plus simples et les plus fréquentes en ASL, à savoir A, S, O, B, 1/G, C, 5 (figure 2.3). Ces contraintes sont également observées en LSF, dans une étude portant sur les unités signées utilisant deux configurations manuelles (Braffort, 1996).

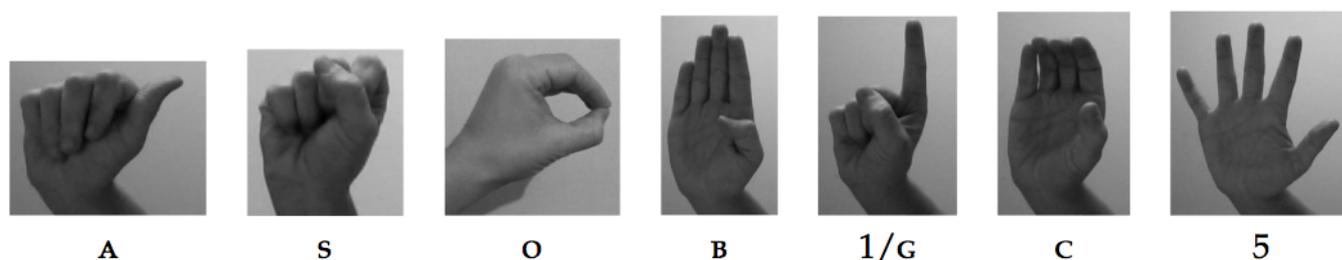


Figure 2.3 : Les configurations manuelles les plus fréquentes en ASL (Battison, 1974)

Dans une autre étude, Battison et al (1975) définissent les contraintes phonotactiques qui caractérisent les signes nécessitant deux contacts successifs d'une partie du corps. Les auteurs divisent quatre zones de contact, c'est-à-dire, la tête avec le cou, le tronc, le bras et la main. L'emplacement du premier contact sur une partie du corps limite les possibilités d'en effectuer un second sur une autre partie pour le même signe.

Par exemple, si le premier contact de la main active a lieu sur la tête, le second peut se produire au même emplacement mais également sur d'autres parties du corps. Cependant, pour les signes effectuant le premier contact sur la main, le second contact

⁵En littérature des LS, la main dominante est généralement la main la plus utilisée par le signeur, celle qui bouge dans les signes ne nécessitant qu'une seule main. Il s'agit de la main droite pour les droitiers et de la gauche pour les gauchers.

doit obligatoirement avoir lieu au même emplacement. Toutes ces configurations ont permis aux auteurs de distinguer des séquences de lieu de contact admises et d'autres non admises (tableau 2.1).

Tableau 2.1: Contacts admis (+) et contacts non admis (-) (Battison et al., 1975)

Premier contact	Second contact			
	Tête	Tronc	Bras	Main
Tête	+	+	+	+
Tronc	-	+	-	+
Bras	-	-	+	-
Main	+	-	-	+

2.2.1.3 L'aspect séquentiel des segments

La prise en compte de la dimension séquentielle dans la description des signes, la précision d'un point de départ, d'un point d'arrivée et un d'un mouvement entre les deux, a permis de fonder un cadre théorique pour de nombreuses études portant sur la segmentation syllabique et la nature de la prosodie en LS. À titre d'exemple, on peut citer les travaux de Liddell (1984) et de Liddell et Johnson (1989). Le signe est constitué d'une séquence de tenues (H : Hold) pour lesquelles sont spécifiés la configuration manuelle, l'orientation et l'emplacement, ainsi que le mouvement (M), décrivant aussi les caractéristiques de sa forme. Analyser la structure d'un signe en matière de tenues et de mouvement a permis aux auteurs de mieux appréhender certains processus phonologiques déjà observés dans les langues vocales, tels que l'assimilation, la réduction temporelle ou l'omission de paramètres phonologiques. Liddell illustre ces points par le cas des signes composés en ASL. Il cite l'exemple du signe CROIRE, constitué respectivement des signes PENSER et SE JOINDRE

(figure 2.4).



CROIRE



PENSER



SE JOINDRE

Figure 2.4 : Les signes CROIRE, PENSER, SE JOINDRE en ASL (Liddell, 1984)

Le signe PENSER comprend un mouvement de l'index vers le front (M) suivi d'un contact avec le front (H). Néanmoins, dans la production du signe composé "CROIRE", dont la première partie est le signe "PENSER", l'auteur observe, entre autres, une suppression du mouvement au début du signe. En langues vocales, ce processus de réduction de paramètres d'un signe est fréquent. Par exemple, le signe CHEVEU [ʃəvø] peut être prononcé CHVEU [ʃvø]. Ce phénomène est expliqué par une assimilation progressive, le premier son assimilant celui qui lui succède.

Ultérieurement, d'autres modèles ont été développés (Corina, 1993 ; van der Hulst,

1995 ; Sandler, 1996 ; Brentari et al, 1996 ; Brentari, 1998 ; Bonucci, 1998), ayant tous pour but de proposer des représentations phonologiques plus simples et plus complètes, mais en décrivant uniquement les gestes manuels. Les recherches sont toujours actives dans ce domaine et le nombre de LS étudiées s'est accru.

2.2.2 Quelle phonétique pour les LS ?

Dans les premières études linguistiques portant sur les langues vocales, il était logique de définir les traits articulatoires avant de déterminer les catégories phonémiques d'une langue. Dans le cadre structuraliste, dans lequel se positionnait les premières études linguistiques en LS, l'objectif principal était de définir directement les unités de la seconde articulation (les phonèmes). La nécessité d'identifier les équivalents de traits phoniques en LS n'est apparue que tardivement, dans des travaux liés essentiellement à leur traitement automatique, notamment pour reconnaître les signes, ou dans les systèmes de synthèse d'animation de signeur virtuel. Nous présentons ci-dessous les deux systèmes les plus utilisés pour décrire la phonétique des LS.

2.2.2.1 Le système HamNoSys

HamNoSys, Hamburg Notation System, (Prillwitz et al, 1989) est un système de transcription phonétique des signes. À l'aide d'environ deux cents symboles, iconiques pour la plupart, ce système permet de décrire les signes selon les paramètres définis par Stokoe. Les versions ultérieures prennent en compte les gestes non manuels (Hanke, 2004). La figure 2.5 est une description HamNosSys du signe HAMBOURG en langue des signes allemande (DGS).

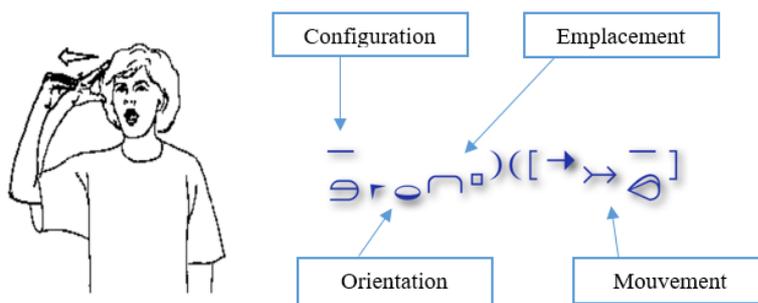


Figure 2.5: Description HamNoSys du signe HAMBOURG en DGS (Hanke, 2010)

Au même titre que pour les langues vocales, où le changement d'un seul trait phonique (voisement ou dévoisement d'une consonne) peut donner lieu à un nouveau son, le changement dans une description HamNosSys d'une partie d'un paramètre comme la position d'un doigt dans une configuration manuelle est susceptible d'engendrer une nouvelle configuration (figure 2.6).

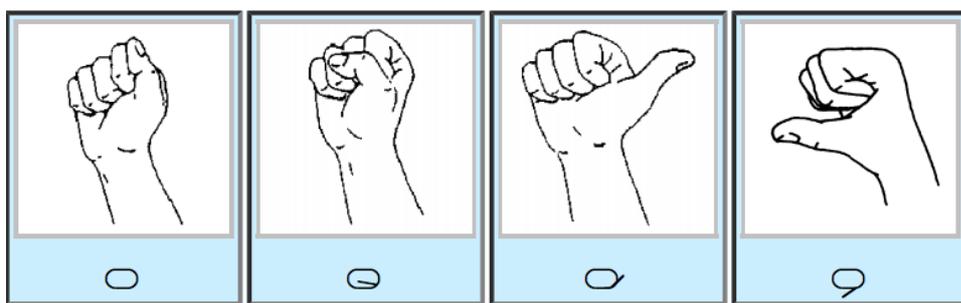


Figure 2.6 : Différentes positions du pouce en HamNoSys (Hanke, 2004)

Ce système, créé dans un contexte d'études lexicographiques, ne permet pas de décrire tout type d'unités signées. De plus, il manque de précision pour décrire les aspects non manuels ou la structure temporelles du signe.

2.2.2.2 Le système SignWriting

Le SignWriting (SW) (Sutton, 1995), beaucoup moins formel que HamNosSys, est un système de transcription phonétique de LS constitué de 425 symboles. S'appuyant à la fois sur des dessins et des descriptions paramétriques, il représente, sous forme de vignettes, les unités signées (Figure 2.7).



Figure 2.7: Description de l'unité SOURD en SignWriting

À partir de plusieurs classes de symboles, le SignWriting permet de décrire la composition d'une unité. La configuration de la main est représentée par un ensemble de symboles (figure 2.8), et son orientation est désignée par une couleur : le noir pour le dos de la main et le blanc pour la paume (figure 2.9). Les contacts sont représentés par des étoiles et le mouvement est décrit par un ensemble de flèches. Les différents gestes non manuels sont exposés à l'aide de symboles ajoutés au dessin.



Figure 2.8: Les configurations en SignWriting (Sutton, 1995)

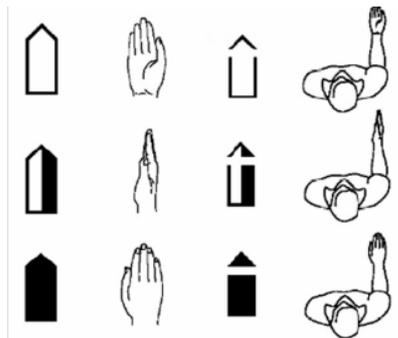


Figure 2.9: Les orientations en SignWriting (Sutton, 1995)

À l’instar du système HamNosSys, la modification d’une partie d’un paramètre ou d’un symbole peut renvoyer à une autre unité signée. Toutefois, si le SignWriting permet de décrire tout type d’unité signée, il est difficilement utilisable du fait du grand nombre de symboles proposés.

2.2.3 Le lexique en LS

2.2.3.1 L’unité signée comme signe linguistique

Dans la perspective de rapprochement entre le système phonologique des langues vocales et celui des LS, de nombreuses études considèrent que toute unité avec *une forme de*

citation, forme stable d'une unité isolée de son contexte, correspond à la définition du signe linguistique. Pour Saussure (1916), tout signe linguistique que relie un signifiant (une image acoustique) et un signifié (son concept) se caractérise par :

1. L'aspect arbitraire : le lien entre le signifié et le signifiant n'étant pas motivé, la relation entre l'image acoustique et le concept auquel elle réfère est arbitraire.
2. La linéarité du signifiant : un signifiant est constitué d'une suite de segments successifs.
3. L'immutabilité : le lien entre un signifiant et un signifié est défini par une communauté linguistique, un locuteur ne pouvant modifier cette association.
4. La mutabilité : l'association entre le signifié et le signifiant peut, avec le temps, subir des modifications.

Même si cette définition couvre la majorité des unités lexicales dans les différentes langues, les deux premiers critères ont toujours suscité un débat dans la linguistique des LS.

En ce qui concerne l'aspect arbitraire, dans certains signes en langues vocales, notamment les onomatopées, on constate un certain rapprochement iconique entre le signifiant et le concept auquel il fait référence. Le mot CLAC, par exemple, rappelle le son d'un claquement. Ce lien iconique entre un signifiant et son signifié est beaucoup plus fréquent en LS.

Pour ce qui est de la linéarité, la modalité visuo-gestuelle permet au locuteur d'utiliser simultanément plusieurs axes d'expression. Les articulateurs non manuels, tels que la mimique faciale, sont considérés, pour certains, comme des paramètres essentiels afin de décrire une partie des unités signées (Jouison, 1995). Certaines unités partageant la même articulation manuelle se distinguent uniquement par l'expression du visage, comme l'indique la paire

minimale ci-dessous :



Figure 2.10: CONTENT – MAL AU CŒUR en LSF

2.2.3.2 La catégorie linguistique du signe

En vue de définir un ordre syntaxique en LS, comme celui des langues écrites, il est indispensable de déterminer la classe morpho-syntaxique de chaque unité signée. Ainsi, dans de nombreuses études portant sur la distinction nom/verbe, (Supalla et Newport, 1975 ; Moody, 1983 ; Pizzuto et Corazza, 1996 ; Bouchard et al, 2005), les auteurs constatent, notamment dans les signes isolés, qu'une majeure partie des paires du type (CHAISE / S'ASSEOIR) partage la même structure phonologique, les constituants se distinguent uniquement par la nature du mouvement, plus allongé pour déterminer une fonction verbale (figure 2.11).

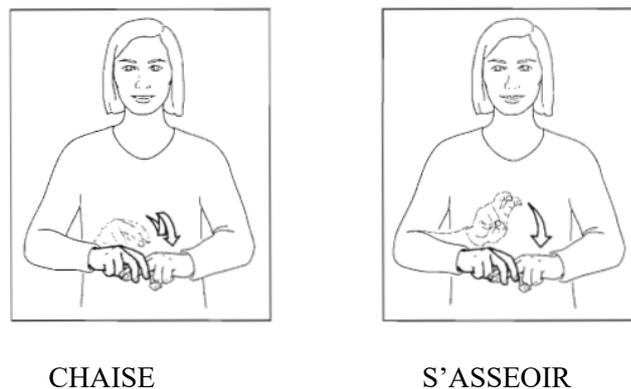


Figure 2.11 : CHAISE – S'ASSEOIR en LSF

Selon d'autres travaux sur les mêmes paires nom/verbe en contexte, ces dernières partagent des formes identiques, la distinction observée au niveau du mouvement

dans les signes isolés est beaucoup moins évidente. Ainsi, pour Johnston et Schembri (1999), Johnston (2001), Bouchard et al (2005), seule une distinction de nature fonctionnelle permet de définir la classe grammaticale d'une unité : « *The category of an element is generally not determined by its phonological form, but by its function in a particular use* » (Bouchard et al, 2005). Certaines études (Neidle et al, 2000) supposent une séquentialité des signes afin de définir une distribution syntaxique qui permettrait de déterminer la classe grammaticale de chaque unité selon son emplacement dans l'énoncé.

2.2.4 Le niveau syntaxique

À l'instar des travaux de Neidle et al (2000), la plupart des études portant sur la syntaxe des LS s'inscrivent dans une visée générativiste, considérant la dimension séquentielle comme essentielle pour définir la fonction grammaticale de chaque signe (Kayne, 1994 ; Chomsky, 1995). Dans cette perspective, l'objectif est non pas d'étudier la nature de la syntaxe dans une langue à modalité visuo-gestuelle mais de décrire l'ordre canonique des unités spécifiques à chaque langue des signes. Ainsi, en langue des signes québécoise (LSQ), Bouchard et al (1999) soulignent que, hormis les ordres VSO et VOS, il existe des structures dans toutes les autres combinaisons possibles. Selon Fischer (1975) et Yau (1993), l'ASL serait essentiellement une langue d'ordre canonique SVO.

En LSF, dans une étude consistant à définir l'ordre des signes le plus fréquent (De langhe et al, 2003), les auteurs demandent aux locuteurs, tous signeurs de naissance de la région bordelaise, d'effectuer des tâches de compréhension et d'expression de plusieurs énoncés isolés avec différents ordres de signes. Ils concluent que les locuteurs en LSF privilégient, le plus souvent, l'ordre canonique OSV et qualifient les autres possibilités, soit de français signé (utilisation de la grammaire du français), soit de combinaisons incompréhensibles. Cependant, rien ne permet de dire que des énoncés isolés possèdent la même structure que des énoncés extraits d'un discours.

D'autres travaux s'éloignent de la définition *a priori* de la syntaxe à partir des grammaires génératives. Ils reposent plutôt sur l'aspect sémantique pour expliquer la distribution syntaxique en LS. Dans une étude sur les relations locatives en LSF (Risler, 2000), l'auteure observe des successions d'unités du type repère-repéré, déterminant-déterminé, tout-partie, etc. Par exemple, dans la phrase suivante en LSF : « les cheveux là sur la table sont à Pierre. », elle note la production du repère [TABLE] suivie de son repéré [CHEVEUX], et le déterminant [CHEVEUX] est suivi de son déterminé [pointage sur PIERRE] (tableau 2.2).

Tableau 2.2 : Description de la structure « les cheveux là sur la table sont à Pierre. » (Risler, 2000)

	Repère		Repéré/ Déterminant		Déterminé	
2 mains	TABLE					PIERRE
Main dominante			pointage	cheveux	pointage	
Main dominée		Locatif				
Regard	interlocuteur	interlocuteur	sur les mains	interlocuteur	sur les mains	interlocuteur

2.2.5 Le niveau prosodique

Les rares études portant sur la prosodie en LS sont récentes et visent souvent à identifier les phénomènes prosodiques déjà observés dans les langues vocales. Ainsi, les travaux que nous avons pu consulter concernent essentiellement la description de l'intonation et reposent sur les paramètres de durée et d'intensité du mouvement des unités signées. Pour Sandler (1989), l'intonation en LS se réalise par le biais de gestes

non manuels, en particulier le mouvement de la tête et du buste, ainsi que par des mouvements faciaux (mouvement de la bouche, des joues et des sourcils). Bouchard et al. (1999) observent, dans les structures topique/commentaire en langue des signes québécoise (LSQ), un mouvement de sourcils vers le haut sur le topique pour déterminer une frontière intonative avec la partie commentaire.

Ces dernières années, l'émergence de nouveaux types de données en LS, notamment des corpus de capture de mouvement (mocap), ont permis de mieux appréhender certains phénomènes prosodiques. Dans une étude sur l'allongement du mouvement d'une unité signée en ASL (Tyrone et al, 2010), selon sa position (initiale, médiane ou finale) dans un syntagme, les auteurs observent qu'il est plus allongé en phase finale (phase de repos). En outre, dans une description de l'emphase en langue des signes japonaise, Tanaka et Van Der Hulst (2004) montrent une modification dans les paramètres du mouvement à la fois dans les unités signées et dans les transitions entre elles.

En LSF, nous soulignons l'étude de Catteau et al. (2016) qui a pour but l'analyse de la prosodie d'une même séquence poétique en LSF et en français vocal. Après avoir réalisé un repérage qualitatif sur des fichiers audio, comme la longueur des pauses, les auteurs ont effectué, dans un deuxième temps, à partir de données de capture de mouvements, des mesures quantitatives. Dans les séquences étiquetées manuellement comme poétiques, ils observent des courbes cinématiques du mouvement, caractérisées par des pics d'accélération suivis d'une brusque décélération.

2.3 Vers une prise en compte des spécificités des LS

Une fois les LS reconnues comme des langues à part entière grâce, en partie, au rapprochement de leur fonctionnement de celui des langues vocales, de nouvelles approches prennent en compte des aspects jusqu'ici mis à l'écart dans leur description linguistique. Celles-ci ont pour objectif d'étudier la dimension iconique observée dans les unités signées

ainsi que d'autres caractéristiques liées à la modalité visuo-gestuelle telles que l'utilisation de l'espace et la mobilisation de plusieurs articulateurs simultanément. Dans ce sens, certaines études tentent d'intégrer des spécificités liées aux LS dans les modèles classiques, initialement conçus pour décrire les langues vocales, tandis que d'autres mettent en question les principes linguistiques considérés *a priori* comme étant communs à l'ensemble des langues.

2.3.1 Une dimension sémantique au niveau phonologique

Dans une perspective structuraliste visant à décrire le système phonologique des LS, de nombreuses études ont fait l'impasse sur leurs caractéristiques et ont mis en avant le principe de la double articulation. Ainsi, l'aspect sémantique/iconique des unités de bas niveau a souvent été négligé et considéré comme un fait non linguistique n'ayant aucun impact sur la structure phonologique des LS. En vue de développer les modèles phonologiques susceptibles de couvrir toutes les caractéristiques observées dans les LS, d'autres réflexions linguistiques proposent d'intégrer l'aspect sémantique des unités de bas niveau dans l'analyse structurale. Ces réflexions finissent par revoir le principe de la double articulation, voire même par l'inverser.

2.3.1.1 Conciliation entre double articulation et iconicité

À partir des années 90, de nouvelles études portant sur le système phonologique des LS mettent l'accent sur la dimension sémantique observée dans les unités de bas niveau. Pour Bouvet (1992), si l'aspect iconique des unités signées en LS ne s'oppose pas au principe de la double articulation, il ne favorise pas non plus l'identification des paires minimales. Jouison (1989), à partir de son expérience dans l'école de jeunes sourds à Bordeaux et sa pratique de la LSF, s'oppose, en revanche, à l'application des modèles phonologiques qui ne prennent en compte que des unités qualifiées d'arbitraires, écartant ainsi toute unité signée relativement

iconique.

Selon Millet (1997), certaines unités paramétriques (les phonèmes) en LSF comportent une dimension sémantique et peuvent être considérées comme des unités sémiques. Elle nomme ce type de paramètres : Unités Linguistiques Intermédiaires (ULI). Van der Kooij (2002) et Van der Hulst & Van der Kooij (2006) proposent la prise en compte de l'iconicité comme contrainte sémantique au niveau phonétique. Cette iconicité est implémentée soit par une règle lorsque la relation sémantique entre la forme gestuelle et sa signification est régulière, soit par une pré-spécification au niveau phonétique, si la relation n'est que rarement observée.

2.3.1.2 Inversement de la double articulation

D'autres chercheurs, non convaincus par l'application du système phonologique classique sur les langues à modalité visio-gestuelle, mettent en question le principe de la double articulation. Stokoe (1991), considéré comme le fondateur de l'analyse structuraliste des LS, revient plus tardivement sur son modèle paramétrique. Il propose une phonologie, appelée sémantique pour les LS, qui se caractérise par un lien direct entre le premier niveau d'analyse et le niveau sémantique. Toutefois, il n'explique pas son positionnement dans le cadre de la linguistique générale.

“The usual way of conceiving of language seems to be linear: first there are sounds (phonology), these are put together to make the words and their classes (morphology), the words in turn, are found to be of various classes, and these are used to form phrase structures (grammar), and finally – the delay is built into this pedestrian way of thinking – the phrase structures after lexical replacement of their symbols yields meaning (semantics). A semantic phonology ties the last step to the first, making a seamless circuit of this pittyapat progression. The metaphor for semantic phonology that jumps to mind in the Möbius strip: the input is the output –

with a twist!” (Stokoe, 1991)

Dans la même perspective, Cuxac (2000) suggère que les unités paramétriques en LSF, pour la plupart, sont porteuses de sens. Il envisage d’inverser le processus de la double articulation : c’est plutôt la plus petite unité qui comporte une dimension sémantique :

“(…) en LSF, les éléments sémantiques minimaux contribuant à la construction générale du sens s’organisent à un niveau inférieur à la forme minimale de réalisation, c’est à dire au niveau où se règlent l’essentiel des problèmes posés par la forme. Il s’agit, si l’on veut, d’une phonétique entièrement dépendante d’une organisation morphosémantique qui lui préexiste en ce sens qu’elle intervient nécessairement (substantiellement) en aval dans le processus de stabilisation des formes minimales. On pourrait presque parler à propos de la LSF d’une double articulation inversée ; c’est pourquoi toute tentative d’exporter une organisation formelle phonologique valant pour les langues vocales à la LSF (aux langues des signes ?) me paraît non seulement passer à côté de l’objet mais contribuer à perturber en profondeur les relations cognitives et métacognitives des locuteurs sourds vis-à-vis de leur langue.”

Cet aspect sémantique observé dans une partie des unités de bas niveau rend la description des unités signées à partir d’une organisation phonologique telle qu’on la conçoit dans les langues vocales relativement problématique.

2.3.1.3 Une distinction trait/phonème non évidente

Dans de nombreux travaux phonologiques en LS qui reposent sur une approche structuraliste, la distinction entre les concepts de phonème et de trait n’est pas explicite, elle prête à confusion. En langues vocales, en dehors de leur différence fonctionnelle, l’agencement des phonèmes s’effectue sur un axe linéaire, alors que les traits s’organisent sur plusieurs axes simultanés. En LS, comme montré dans la figure 2.12, la constitution d’un morphème nécessite l’articulation simultanée de l’ensemble des paramètres (des branches convergentes). Cette

synchronisation de phonèmes peut les rapprocher de la fonction des traits distinctifs.

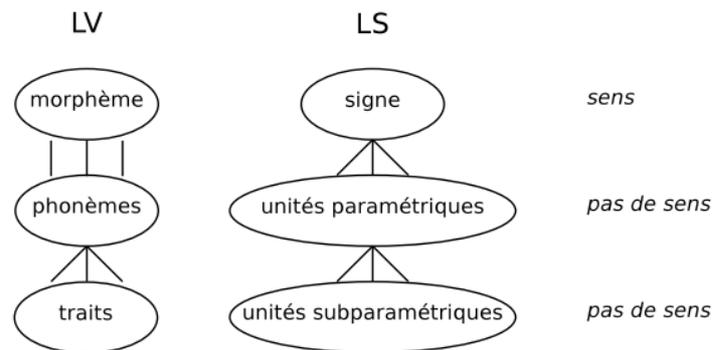
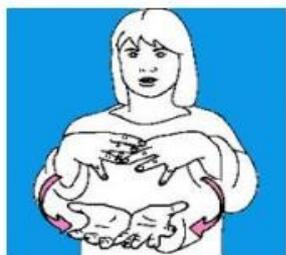


Figure 2.12 : Le principe de la double articulation en LV et en LS (Boutora, 2008)

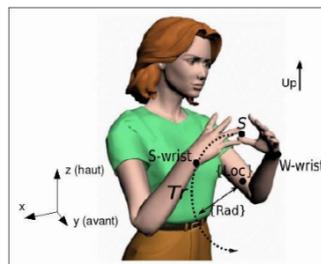
Dans cette perspective, Van der Hulst (1993) et Channon (2002) définissent une unité signée comme un seul segment et qualifie l'ensemble des paramètres qui la constituent de traits. Ainsi, ce n'est plus le phonème qui est défini comme la plus petite unité permettant de créer les paires minimales mais plutôt le trait. Cette organisation phonologique écarte complètement la notion de phonème et met en question le principe de la double articulation dans les LS.

2.3.2 Le contour du signe lexical

Dans les modèles classiques, seules les unités signées avec une forme de citation sont considérées comme lexicales. Néanmoins, certaines des unités signées en contexte subissent des modifications sur une partie de leurs paramètres. Par exemple, Filhol (2008) souligne une différence entre la forme de citation de l'unité signée BALLON, telle qu'on la trouve dans un dictionnaire (figure 2.13 (a)), et son insertion dans un énoncé (figure 2.13 (b)). Cette caractéristique rend la répertorisation de l'ensemble des unités utilisées en LS relativement complexe.



(a)



(b)

Figure 2.13 : L'unité signée BALLON dans une forme de citation (a) ; son annotation dans un contexte donné (b) (Filhol, 2008)

De plus, quelques unités, pourtant présentes dans les différentes LS, n'ont pas toujours une forme de citation stable susceptible de constituer une entrée dans un dictionnaire. Afin de prendre en compte l'ensemble des unités signées observées dans les corpus de LS, Johnston (2010) propose une classification selon le degré de la stabilité et de conventionnalisation de chacune de ces unités signées :

- Les signes lexicaux « fully-lexical signs » : le lien entre la forme et son signifié est stable. Ces unités signées correspondent à ce que nous appelons, en linguistique générale, « signes linguistiques », et elles peuvent être répertoriées dans un dictionnaire.
- Les signes partiellement lexicaux « partly-lexical signs » : ce sont des unités signées singulières et très variées, sans aucune forme de référence. Il s'agit essentiellement d'unités signées comme les proformes, une configuration manuelle faisant référence à une unité déjà signée (O'Baoill et Matthews, 2000) ou d'unités de pointage (figure 2.14), servant par exemple à désigner une partie de l'espace où une unité est signée (Johnston, 2014). Cette catégorie d'unités est observée dans diverses langues signées. Nous citons en exemple, Cuxac (2000) et Garcia (2011) pour la LSF ; Klima et Bellugi, (1979) et Liddell (2003) pour l'ASL; Meurant (2008) pour la LS française de Belgique, ainsi que Johnston et Schembri, (2007) pour l'Auslan.



Figure 2.14 : Exemple d'unité de pointage

- Signes non-lexicaux « non-lexical signs » : ce sont des unités signées issues de la dactylogogie ou de la gestualité des entendants.

L'usage des spécificités liées aux LS, comme celui de l'espace, permet aux locuteurs d'utiliser des unités qui n'ont pas forcément une forme de citation. Elles prennent du sens par rapport à leur emplacement dans une partie de l'espace ou à partir de leur structure iconique. Malgré leur fréquence dans les différentes LS, ce type d'unités ne correspond pas à la définition classique du signe linguistique. Leur statut a toujours suscité des débats dans les différents travaux en linguistique des LS.

2.3.3 Une dimension séquentielle non évidente

Certains chercheurs, non convaincus par la pertinence des analyses syntaxiques essentiellement fondées sur l'ordre linéaire des unités signées, ont proposé de nouveaux modèles linguistiques qui prennent en compte les spécificités liées à la modalité visuo-gestuelle des LS, à savoir la multilinéarité, l'espace de signation et l'iconicité.

L'activation simultanée de plusieurs articulateurs (manuels et non manuels) permet au locuteur d'exprimer dans le même temps plusieurs informations qui pourraient relever de plusieurs niveaux linguistiques. Ainsi, une phrase en français écrit peut se traduire par une seule unité signée en LSF. Dans le corpus MOCAP⁶, pour signer la structure « derrière la pyramide, il y a ... », la locutrice a produit une seule unité (figure 2.16). La configuration

⁶ <https://tals.limsi.fr/corpus.html>

manuelle reprend la forme d'une pyramide. Pour illustrer ce qui se passe derrière la pyramide, la locutrice utilise, en même temps que la configuration manuelle, des articulateurs non manuels tels que le mouvement de la tête sur le côté et l'ouverture maximale des yeux.



Figure 2.15 : Expression de « derrière la pyramide, il y a ... » en LSF (Corpus MOCAP1)

L'espace de signation joue, à son tour, un rôle important pour définir le lien entre les différentes unités signées. Ainsi, le locuteur peut introduire une unité signée dans l'espace de signation et y faire référence grâce aux stratégies d'association spatiale.

À l'image de Klima et Bellugi (1979) qui ont défini plusieurs classes d'espace de signation en ASL, Millet (1997, 2004), en se fondant sur les relations actanciennes (agent, bénéficiaire, but...), distingue six parties pré-sémantisées de l'espace en LSF (figure 2.16) : la partie libre (1), la partie agent/ bénéficiaire animé (3ème personne) (2), la partie de la première personne (3), la partie de la 3ème personne inanimée (4), la partie de l'agent non défini (5) et celle des lieux (6). D'autres travaux (Risler 2005), (Lejeune 2004), (Meurant, 2003) montrent que la partie de l'espace dans laquelle une unité signée peut être placée est activée par le regard.

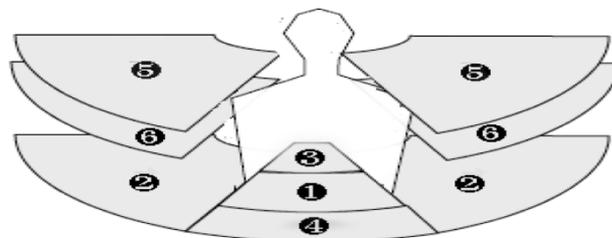


Figure 2.16 : Les espaces pré-semantisés selon Millet (1997)

Afin d'expliciter les structures reposant sur les caractéristiques des langues visuo-gestuelles, certaines études placent l'iconicité au centre de leur description. Cuxac (2000)

distingue deux visées pour « dire » en LSF : une non illustrative, qui fait appel aux signes lexicaux répertoriés dans un dictionnaire, et l'autre illustrative, à savoir « dire en montrant », où le locuteur reproduit de manière iconique une représentation imagée. Il s'agit d'une projection dans l'espace de signation d'une expérience soit réelle soit imaginaire. Il nomme “transfert” l'ensemble de ces structures iconiques. Il en distingue trois types :

1. Les transferts de taille et de forme : ce sont des descriptions manuelles dans l'espace de signation de la taille ou de la forme des objets, des personnes, etc. La figure 2.17 illustre la description de la forme d'une [FLEUR].

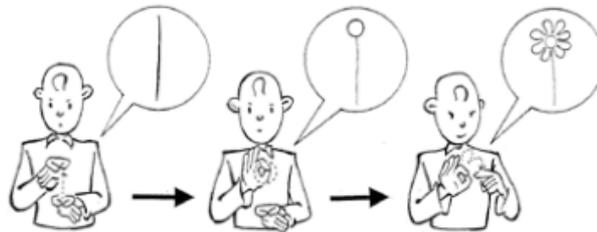


Figure 2.17: Transfert de taille et de forme, exemple : [FLEUR] (Verlaine)

2. Les transferts situationnels : ce sont des descriptions de placements et de mouvements d'une unité par rapport à une autre, plus stable, comme par exemple le déplacement d'une voiture par rapport à un feu de circulation (figure 2.18).

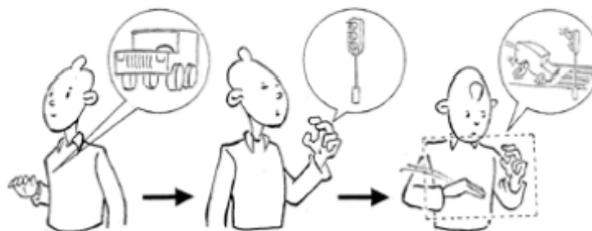


Figure 2.18 : Transfert situationnel, exemple : position d'une voiture par rapport à un feu de circulation (Verlaine)

3. Les transferts personnels : ce sont des structures où le locuteur incarne le rôle d'un personnage, d'un animal ou d'un objet. Par exemple, le locuteur décrit les actions d'un chien (figure 2.19).

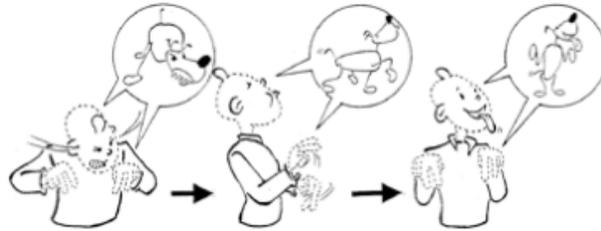


Figure 2.19 : Transfert personnel, exemple : les traits d'un chien (Verlaine)

Des structures comme les transferts reposent sur l'utilisation de l'espace de signation et la mobilisation simultanée de plusieurs articulateurs. Ainsi, le fait de s'appuyer uniquement sur l'aspect séquentiel des unités pour décrire l'organisation syntaxique des LS écarte les structures qui ne répondent pas aux contraintes imposées par les modèles syntaxiques classiques.

2.4 Bilan

Dans ce chapitre, nous avons présenté différentes approches dans l'intention de décrire le fonctionnement linguistique des LS. Les premières études se positionnaient dans un cadre de linguistique universaliste, supposant que la différence de modalités n'avait pas d'impact majeur sur l'organisation du langage humain. Dans cette visée, l'objectif des études linguistiques était de rapprocher le fonctionnement des LS de celui des langues vocales, en s'appuyant sur des descriptions par niveau d'analyse. À partir des années 90, certains chercheurs ont pris du recul, à des degrés variés, sur les modèles classiques et ont tenté de prendre en compte les possibilités illustratives que permet la modalité visuo-gestuelle. Ces approches remettent en question l'application des modèles classiques aux LS et installent un débat sur la pertinence des « universaux du langage » pour décrire des langues à modalité visuo-gestuelle. Dans le cadre de notre projet de génération, ces aspects devront être pris en

considération afin de représenter l'ensemble des phénomènes observés dans la LSF. Cela assure la production d'énoncés en LSF par un signeur virtuel qui soient considérés comme acceptables et compréhensibles par les locuteurs de la LSF.

3 Modélisation des LS

Dès les premiers travaux linguistiques de Stokoe (1960), de nombreuses approches ont proposé des modèles linguistiques pour décrire les LS sans avoir réussi à trouver des descriptions complètes qui prennent en compte toutes leurs spécificités. Ainsi, les chercheurs en traitement automatique des langues des signes (TALS) doivent aujourd'hui modéliser des langues sans description linguistique fine, sans forme écrite et avec un nombre de corpus limité. Par ailleurs, à l'image des premières études linguistiques sur les LS, les travaux en TALS s'inspirent fortement des modèles conçus pour modéliser les langues vocales, en essayant au mieux, pour certains, de considérer quelques caractéristiques spécifiques aux LS comme la multilinéarité.

Dans ce chapitre, nous exposons différents travaux qui s'attachent à modéliser les LS. Nous montrons, dans un premier temps, différentes approches à base de règles linguistiques et leur application aux LS (section 3.1 et 3.2). La section 3.3 expose des travaux basés sur des approches statistiques. Nous concluons ce chapitre par la présentation d'un modèle dédié aux LS (section 3.4).

3.1 Les grammaires à base de règles

Les premières études en traitement automatique des langues (TAL) portaient sur la traduction automatique. En effet, en 1952, dans le cadre de la guerre froide, où la traduction de documents de la langue russe vers l'anglais était devenue une priorité aux États-Unis, a eu lieu la première conférence sur la traduction automatique, organisée au MIT (Massachusetts Institute of Technology) par Bar-Hillel (Bar-Hillel, 1953a, b). Au début de l'informatique comme discipline scientifique, les premiers systèmes de traduction automatique se contentaient d'une traduction mot à mot, en se basant sur une manipulation de dictionnaires électroniques ainsi que sur quelques règles de réarrangement. Cette procédure a donné lieu

au célèbre exemple : « The spirit is willing but the flesh is weak » (l'esprit est fort mais la chair est faible), après une traduction aller-retour russe/anglais le système donne la phrase suivante : « The vodka is strong but the meat is rotten » (la vodka est forte mais la viande est pourrie). Quelques années plus tard, Chomsky (1965) a proposé une grammaire formelle qu'il supposait universelle. Par la suite, de nombreuses grammaires ont émergé, dans la tentative de se compléter les unes les autres.

3.1.1 La grammaire générative et transformationnelle

La grammaire générative et transformationnelle (Chomsky, 1965) vise à décrire tous les énoncés possibles grammaticalement dans une langue, et uniquement eux. L'objectif est d'associer à une structure de surface (la séquence lexicale) sa structure profonde (son organisation syntaxique composée de règles de transformation). La grammaire est définie par le quadruplet (V_n, V_t, R, S) avec :

- V_n : vocabulaire non terminal (un vocabulaire qui sert à décrire la langue)

Exemple : $\{S, GN, GV, N, V...etc.\}$ avec S = syntagme, GN = groupe nominal, GV = groupe verbal, N = nom, V = verbe

- V_t : vocabulaire terminal (le lexique utilisé dans une langue)

Exemple : $\{va, lire, joue, boit, un, la, etc.\}$

- R : l'ensemble des règles de réécriture

Exemple : $S \rightarrow GN GV$: un syntagme peut être composé d'un groupe nominal suivi d'un groupe verbal.

$GN \rightarrow Det N$: un groupe nominal peut être composé d'un déterminant et d'un nom

- S : symbole de départ (appelé axiome)

En débutant la description par l'axiome S , chaque règle de réécriture utilisée est une dérivation d'un non-terminal dans celle qui la précède. La dernière ligne de dérivation ne doit

contenir que des éléments terminaux (structure de surface). Par exemple, la figure 3.1 est un arbre de dérivation de la structure de surface “Pierre lit un livre”. Il faut également souligner que la grammaire générative se caractérise par la récursivité des règles, ce qui permet de décrire un nombre infini d'énoncés à partir d'un ensemble fini de règles.

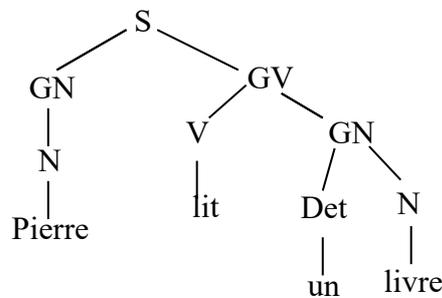


Figure 3.1 : L'arbre de dérivation de la structure de surface “Pierre lit un livre”

La non couverture des grammaires génératives de certains phénomènes linguistiques, comme l'accord entre les terminaux, a donné naissance à d'autres théories linguistiques qui sont plus complètes et représentatives, tout en respectant le principe modulaire des grammaires transformationnelles. Nous montrons dans les sections suivantes, les modèles linguistiques les plus utilisés en TAL.

3.1.2 Les grammaires d'arbres adjoints (TAG)

Les grammaires d'arbres adjoints, également connues sous l'abréviation TAG (Tree Adjuncting Grammar), ont été conçues par Joshi et al (1975). Contrairement aux grammaires syntagmatiques qui reposent sur des règles de réécriture pour décrire une structure profonde, les grammaires d'arbres adjoints s'appuient sur un système de réécriture d'arbres. Une grammaire TAG est définie par le quintuplet (NT, T, S, I, A) avec :

- NT : éléments non terminaux de la grammaire
- T : terminaux de la grammaire
- S : axiome
- I : ensemble fini des arbres initiaux
- A : ensemble fini des arbres auxiliaires

Les arbres initiaux (I) et les arbres auxiliaires (A) constituent des arbres élémentaires. Les deux ensembles se différencient par leur forme ainsi que par leur processus de réécriture.

Au niveau de la forme, les arbres initiaux s'identifient par des feuilles d'éléments terminaux ou non-terminaux désignés par le symbole (\downarrow). Les arbres auxiliaires, quant à eux, se caractérisent par la présence d'un nœud non terminal qui porte la même catégorie que celle de la racine. Ce nœud, nommé nœud pied, est désigné par le symbole (*).

Au niveau des opérations de réécriture, les grammaires TAG reposent sur deux types : la substitution et l'adjonction. Comme le montre la figure 3.2, la substitution se caractérise par la représentation d'un nœud feuille Z d'un arbre γ par un autre arbre initial α , ayant la même racine que l'arbre γ .

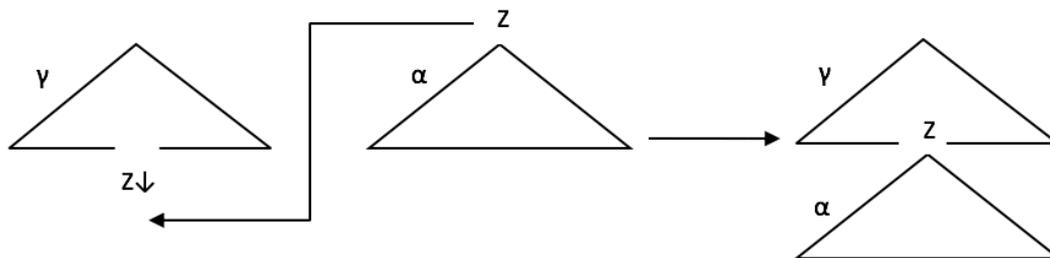


Figure 3.2 : Opération de substitution

L'opération d'adjonction se définit comme l'introduction d'un arbre auxiliaire à l'intérieur d'un autre arbre. Dans la figure 3.3, l'arbre auxiliaire β de racine Z, ainsi que son nœud feuille issu de la même catégorie que la racine, sont introduits à l'intérieur de l'arbre γ par le biais d'un nœud interne nommé Z. L'ensemble de cette constitution produit l'arbre θ .

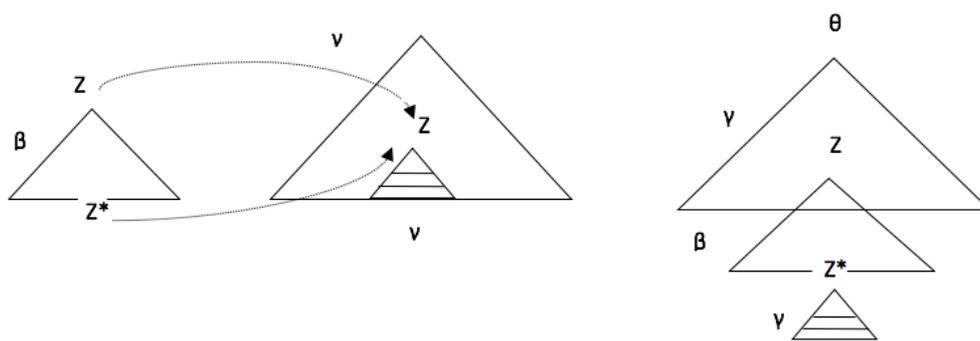


Figure 3.3 : Opération d'adjonction

Après que l'une de ces deux opérations de réécriture est exécutée pour décrire un arbre, on obtient un nouvel arbre appelé arbre dérivé. Ainsi, un arbre est complètement dérivé une fois que l'ensemble des nœuds feuilles est étiqueté par des éléments lexicaux. La figure 3.4 illustre l'exemple d'un arbre dérivé complet, utilisant les deux opérations de réécriture possibles en grammaire TAG.

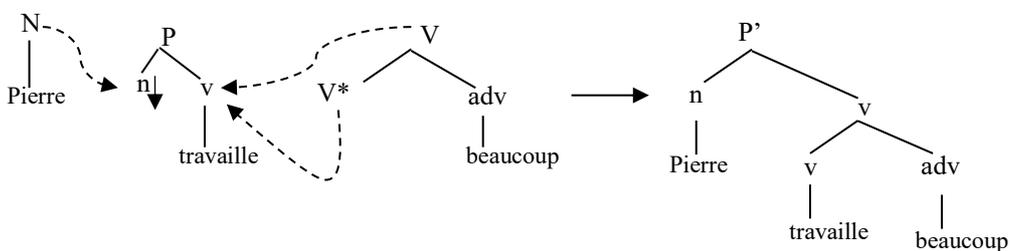


Figure 3.4 : Arbre dérivé de la structure « Pierre travaille beaucoup »

- La première opération de réécriture est une substitution. L'arbre N est permuté sur la feuille n de l'arbre P.
- La seconde opération de réécriture est une adjonction. L'arbre V est adjoint au nœud v de l'arbre P. L'application de ces deux opérations donne l'arbre dérivé P'.

3.1.3 La grammaire lexicale-fonctionnelle (LFG) :

La grammaire LFG (Lexical Functional Grammar) de Kaplan et Bresnan (1982), est présentée comme une grammaire riche et réaliste sur le plan linguistique. Elle est composée de deux parties essentielles : la “structure des constituants” également appelée “c-structure ” pour représenter l'arbre syntagmatique des constituants (figure 3.1) et “la structure fonctionnelle” ou “f-structure” liée à chaque nœud de l'arbre. Les f-structures sont constituées d'un ensemble de traits, chacun étant composé d'un attribut et de sa valeur, afin de décrire les différentes fonctions grammaticales caractérisant les éléments d'une phrase comme l'accord, le genre, le mode, etc. La figure 3.5 représente la f-structure du nœud “Pierre ” dans la phrase “Pierre lit un livre”.

PRED	'Pierre'
NUM	Sg
GEND	Masc
PERS	3

Figure 3.5: f-structure du syntagme Pierre

Grâce à des équations fonctionnelles, il est possible de réaliser des associations entre les f-structures et leurs nœuds dans l'arbre syntaxique, et ainsi de vérifier si l'énoncé est bien formé. Les symboles les plus utilisés dans des équations fonctionnelles sont les suivants :

- Les symboles \downarrow et \uparrow renvoient à des f-structures dans un arbre (\downarrow désigne l'ensemble des traits d'une catégorie donnée, \uparrow indique l'ensemble des traits de la catégorie immédiatement dominante dans la c-structure)
- Le symbole $\uparrow = \downarrow$ signifie que les f-structures liées par exemple au nœud S (\uparrow) et au nœud SV (\downarrow) sont identiques.

Quoique les traits dans les f-structures puissent varier d'une langue à une autre, le trait prédicat (PRED), qui prend pour valeur le noyau de la structure, reste essentiel dans toute description LFG. Il est suivi d'un cadre de sous-catégorisation, composé d'une liste d'arguments

syntaxiques qu'il gouverne. Dans la description suivante (figure 3.6), le prédicat est le verbe 'aimer'. La f-structure doit vérifier la réalisation des arguments sous-catégorisés <SUJ>, son sujet et <OBJ>, son objet.

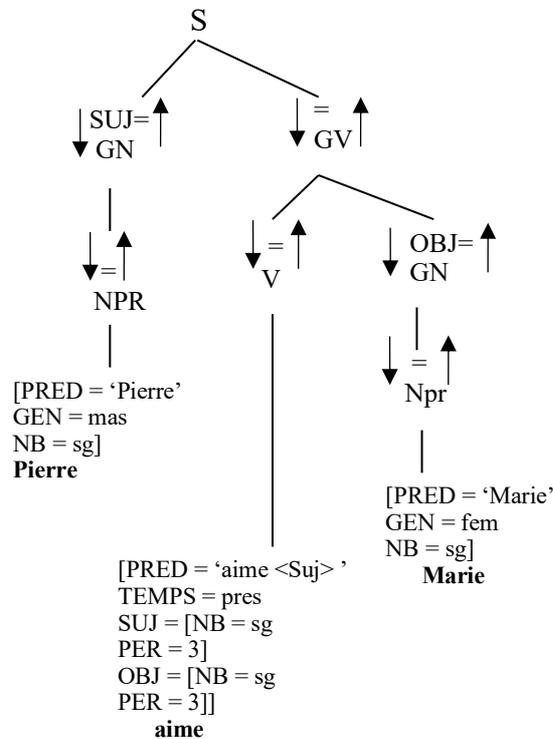


Figure 3.6: Une description LFG pour « Pierre aime Marie »

3.1.4 La grammaire syntagmatique guidée par les têtes (HPSG)

Les grammaires HPSG, (Head-driven Phrase Structure Grammar), en français grammaires syntagmatiques guidées par les têtes (Pollard et I. Sag, 1987, 1994) se sont inspirées de plusieurs théories syntaxiques, notamment de la GPSG⁷. Elles se présentent comme des grammaires non-dérivationnelles basées sur des représentations lexicalistes. Les descriptions liées à d'autres domaines d'analyse tels que la syntaxe, sont traitées au niveau lexical. De plus, les grammaires HPSG permettent d'intégrer dans une représentation des informations linguistiques qui relèvent de plusieurs niveaux d'analyse. Bien que le modèle

⁷Generalized Phrase Structure Grammars (Gazdar,1985).

initial intègre essentiellement des connaissances de niveau lexical, syntaxique et sémantique, d'autres travaux prévoient la prise en compte de l'aspect phonologique (Bird, 1994). Les grammaires HPSG décrivent une structure à partir d'un système de contraintes d'unification. On parle alors d'une structure bien formée si les contraintes sont validées.

La composition d'un syntagme dans les grammaires HPSG dépend de la nature de sa tête lexicale (son noyau). C'est en prenant en compte les contraintes de la tête que s'organise le syntagme tout entier. Ainsi, un syntagme bien formé doit répondre essentiellement à deux principes : le principe de traits de tête et celui de valence.

Par principe de traits de tête, nous entendons que les valeurs du trait tête d'une branche et celles de son nœud père doivent être identiques. Dans la figure 3.7, deux étiquettes portant les mêmes chiffres (renvoyant à un ou plusieurs traits) partagent les mêmes valeurs ; nous parlons, dans ce cas, d'identification.

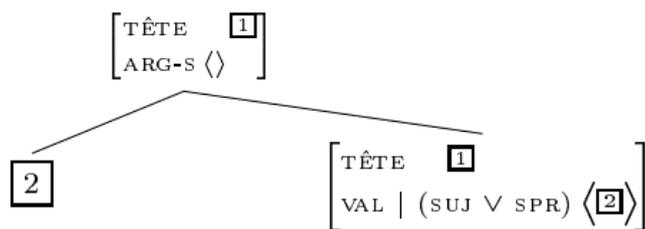


Figure 3.7: Exemple d'un schéma de règles (Blache, 2000)

Le trait de valence indique les constituants syntaxiques que la tête gouverne. Ils peuvent être constitués de trois traits, à savoir : un spécifieur (spr) (un déterminant par exemple), un sujet (sujet) et un complément (comps).

3.1.5 Les grammaires applicatives et cognitives

Les grammaires cognitives (Langacker, 1987 ; Talmy, 2000 ; Lakoff, 1987) proposent une nouvelle approche qui n'opte pas pour une totale autonomie du langage. Elles considèrent que toute activité langagière doit être déterminée par des principes cognitifs. Ainsi, la sémantique est mise au centre de la description linguistique du langage. Contrairement aux

grammaires syntagmatiques qui accordent à la syntaxe une fonction plutôt liée à des contraintes formelles, dans les grammaires cognitives, une structure syntaxique doit porter un sens, et fait partie intégrante de la construction sémantique de l'énoncé.

En s'inspirant des grammaires cognitives et de la grammaire applicative et universelle, Schaumyan (1977) et Desclés (1990) proposent la Grammaire Applicative et Cognitive (GAC). Afin de mieux identifier les opérations cognitives et les catégorisations du langage dans un énoncé, ils suggèrent plusieurs niveaux de représentation. Comme le montre la figure 3.8, la GAC repose sur trois niveaux analysables séparément, en partant du conceptuel pour arriver au langagier.

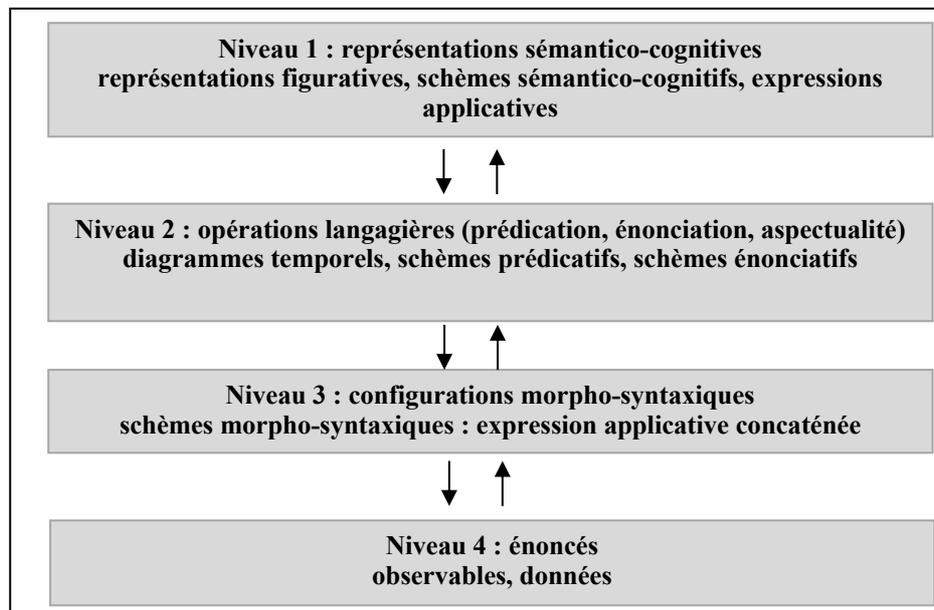


Figure 3.8 : Architecture de la GAC (Lejeune, 2004)

Si l'on prend par exemple le syntagme verbal "Pierre lit un livre à Marie", il est analysé en GAC à partir des trois niveaux de représentation suivants :

Niveau 3 : représentation morpho-syntaxique:

([Nom propre] Pierre) ([Verbe] donne (([Article] un) [Nom] livre)) ((([Préposition] à (Nom propre] Marie)))) : Pierre (donne (un livre) (à Marie))

Niveau 2 : opérations langagières (analyse des rôles thématiques)

Donner à (Pierre : agent, livre : objet, Marie : destinataire)

Niveau 1 : représentation sémantico-cognitive

Donner à : Pierre domine la situation, il est l'acteur qui permet le passage du lieu du livre à celui de Marie. La représentation du niveau sémantico-cognitif peut également être illustrée par un diagramme ou une expression logique et symbolique.

3.2 L'application des grammaires à base de règles sur les LS

Le début des études en TALS apparaît dans un cadre où la majorité des travaux sur la modélisation des langues écrites repose sur les grammaires génératives. Ainsi, ces derniers visent à appliquer les modèles linguistiques conçus initialement pour la modélisation des langues écrites sur les LS. La majorité des recherches, ayant pour objectif de générer les LS, s'inscrit dans des projets de traduction automatique, choix qui s'explique sans doute par l'utilité du développement d'un tel outil pour la communauté sourde. Nous présentons dans les sections ci-dessous différentes approches portant sur la génération des LS.

3.2.1 Le début des travaux en TALS

À l'image des premières études linguistiques en LS, les travaux portant sur leur modélisation informatique ont débuté plus tardivement que ceux concernant les langues vocales. Parmi les premiers projets à proposer un système de génération des LS, citons le projet Zardo (Veale et al, 1998). Il s'agit d'une architecture de traduction automatique de l'anglais vers l'ASL reposant sur une interlingua⁸, représentée par des schémas codés manuellement.

⁸Il s'agit d'une représentation sémantique qui sert d'intermédiaire entre la langue source et la langue cible.

Les schémas comme entrée du processus de la génération de l'ASL permettent de s'éloigner de la représentation grammaticale de l'anglais et d'inclure quelques caractéristiques des LS, comme la prise en compte des gestes non manuels. Néanmoins, le nombre conséquent de traitements et de schémas nécessaires rend possible l'utilisation de cette approche uniquement dans des domaines restreints.

3.2.2 La génération des LS à partir d'une grammaire de type TAG

Dans le cadre du projet de traduction automatique « TEAM » (Zhao et al, 2000), la génération de la partie ASL s'effectue à partir d'une approche de transfert syntaxique à l'aide d'une grammaire STAG (Shieber, 1994), c'est-à-dire, une grammaire de type TAG permettant d'engendrer une analyse à la fois syntaxique et sémantique d'une structure. La figure 3.9 représente l'architecture globale de ce projet.

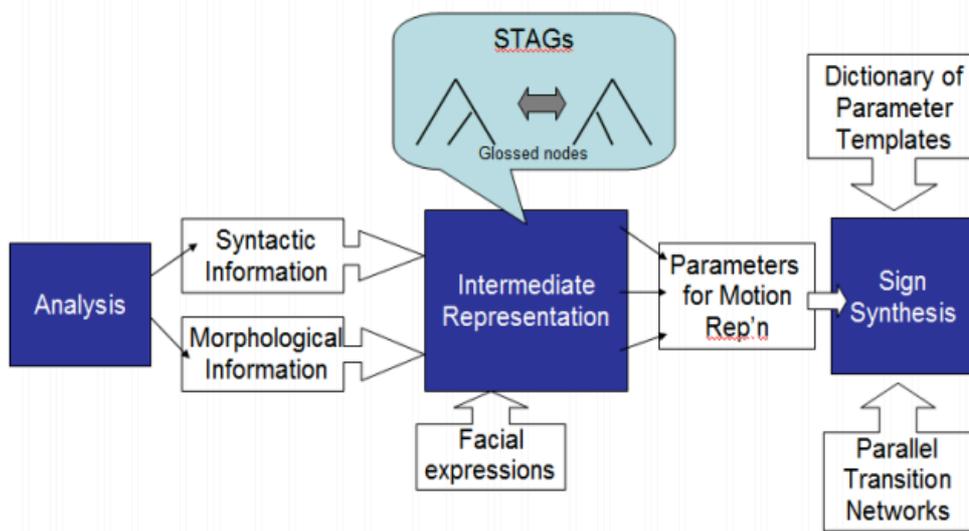


Figure 3.9 : Architecture de TEAM PROJECT (Zhao et al, 2000)

Après une analyse morphologique et syntaxique du texte en anglais, une représentation

intermédiaire à base d'une séquence de gloses⁹ est générée. Cette représentation prévoit aussi l'intégration des expressions faciales liées à une glose manuelle. À partir de la grammaire STAG, la structure en anglais est analysée et convertie en une représentation STAG en ASL. Le système prévoit la prise en compte de quelques différences grammaticales entre les deux langues comme la négation et la topicalisation. La partie lexicale de la représentation est ensuite animée, reposant sur un dictionnaire de signes et de mouvements paramétrés. Il ne semble pas que cette étude ait donné lieu à un prototype opérationnel ni à des travaux permettant d'évaluer le modèle.

3.2.3 La génération des LS à partir d'une grammaire LFG

Afin de générer des énoncés en ASL dans le cadre du projet de traduction « ASL Workbench », Speers (2001) suggère une approche de transfert syntaxique à partir d'une grammaire LFG. La structure globale est représentée dans la figure 3.10.

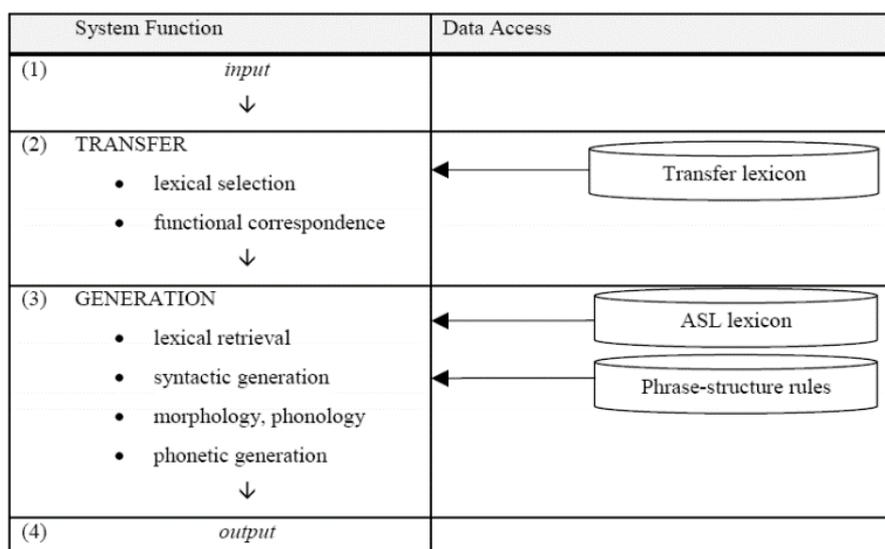


Figure 3.10 : Architecture du projet The ASL Workbench (Speers, 2001)

⁹ Par le terme glose, nous faisons référence aux mots d'une langue vocale utilisés pour désigner une unité signée. Par exemple, la glose « maison » indique l'unité signée MAISON en LSF.

Les phrases figurant en entrée en anglais sont analysées à partir d'une grammaire LFG. Leurs f-structures sont ensuite converties manuellement en f-structures ASL. Les c-structures ASL sont dérivées dans la phase de génération suivie de leurs p-structures (leurs structures phonétiques), permettant de prendre en compte des articulations non-manuelles. Même si, au niveau de la génération, le système propose automatiquement des formes de sortie, une intervention manuelle peut être nécessaire pour choisir la bonne forme ou résoudre les difficultés de choix lexicaux que peut rencontrer le système. La forme de sortie est une description phonologique qui repose sur le modèle Hold-Movement (Liddell et Johnson, 1989). Il importe également de noter que ce modèle reste une suggestion d'architecture. Comme pour le modèle précédent, aucune évaluation n'a été effectuée.

3.2.4 La génération des LS à partir d'une grammaire HPSG

Dans le cadre du projet de traduction automatique vers la langue des signes britannique (BSL), nommé VISICAST (Marshall et Sáfár, 2002, 2003), les auteurs, trouvant que les variations en LS sont moins importantes au niveau de leurs grammaires qu'au niveau du lexique, reposent sur les grammaires lexicalistes HPSG pour générer la BSL. L'architecture du système est présentée dans la figure 3.11.

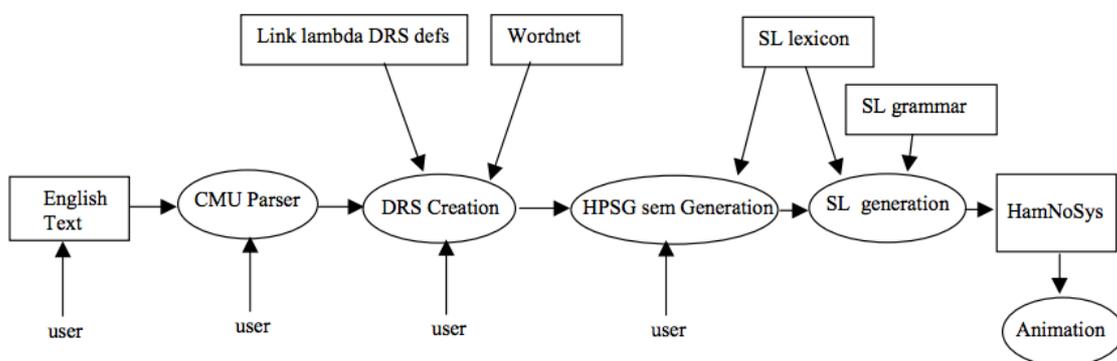


Figure 3.11 : Architecture du projet VISICAST (Marshall et Sáfár, 2002)

En vue de définir des liens de dépendance entre les mots du texte en anglais, les auteurs utilisent un analyseur grammatical développé à l'Université Carnegie Mellon (CMU) (Sleator et Temperley, 1991). À partir de cette analyse de l'entrée, sont générées des structures de représentation du discours DRS (Kamp et Reyle, 1993), qui correspondent au contenu sémantique du texte (prédicats nominaux, relations temporelles, etc.). Ces représentations sont, par la suite, converties en DRS de BSL. Les auteurs soulignent que ce processus peut modifier le nombre d'arguments de la structure. Si le verbe DÉPLACER nécessite uniquement un argument en anglais, il fait appel à trois arguments en ASL : le début et la fin du signe dans l'espace de signation, ainsi que la configuration manuelle qui peut varier selon la nature de l'objet à déplacer. Les DRS en BSL sont ensuite transformées en une représentation HPSG, correspondant au début de la partie génération. Le système repose sur une grammaire et un lexique préalablement enregistré (environ 250 unités signées) et propose en sortie une description phonétique HamNoSys pour animer un signeur virtuel.

3.2.5 La modélisation des LS à partir d'un modèle sémantico-cognitif

Dans le cadre de sa thèse, Lejeune (2004) propose un modèle afin de générer des séquences en LSF en s'appuyant sur les grammaires cognitives. Le modèle est basé tant sur des représentations sémantiques fortement inspirées des grammaires applicatives et cognitives (Desclés, 1990) que sur une description opératoire, dont le but est de placer ces représentations dans l'espace énonciatif dialogique du locuteur. Cette approche est appliquée essentiellement sur la description des formes verbales en lien avec la notion de repérage et de transfert d'une entité. Également, elle est utilisée pour décrire certains verbes polysémiques. Bien que ce modèle vise à modéliser des structures spécifiques aux langues visuo-gestuelles nécessitant le positionnement d'entités dans l'espace, il ne propose pas, dans son état actuel, le traitement d'autres types de structures.

3.3 L'approche statistique

Les premières approches statistiques pour modéliser les langues, notamment dans les projets de traduction automatique, apparaissent dans les années 90 (Brown et al, 1990). Elle se fondent sur le principe suivant : une phrase P dans une langue source a une traduction possible T dans une langue cible selon la probabilité $p(T|P)$. Le but est de trouver une phrase T' dans la langue cible, correspondant à la phrase P, en augmentant au maximum la probabilité $p(T|P)$ et en s'appuyant sur un corpus parallèle. Ce processus peut être résumé par cette équation :

$$\hat{T} = \arg \max_T p(T|P) = \arg \max_T p(P|T).p(T)$$

Nous distinguons deux éléments dans ce formalisme :

- Le modèle de traduction $p(P|T)$ permet de donner la probabilité de correspondance entre une phrase source et une phrase en langue cible.
- Le modèle de langage $p(T)$ permet d'évaluer la bonne formation d'une séquence de mots en langue cible.

Le calcul de ces deux éléments est estimé à partir de corpus volumineux, soit un corpus bilingue et aligné pour le modèle de traduction et un autre, monolingue, pour le modèle de la langue cible. Malgré le manque considérable de corpus en LS, l'approche statistique est appliquée dans quelques projets de traduction, cette fois en partant des LS vers le texte. Nous en présentons quelques-uns dans les sections suivantes.

3.3.1 Le projet “Translating from German SL”

Le projet “Translating from German SL “ (Bauer et al, 1999) propose un système de traduction de la langue des signes allemande (DGS) vers le texte. Dans un premier temps, le système effectue une phase de reconnaissance automatique des signes en DGS. À l'aide des

modèles de Markov Cachés (HMM) (Rabiner, 1989), le signal entrant est reconnu dès lors qu'il est comparé à un ensemble de classes ayant été élaborées durant une phase d'apprentissage. Une fois les unités signées reconnues sous forme de gloses, elles sont traduites sous forme textuelle dans plusieurs langues. La figure 3.12 représente l'architecture globale de ce système.

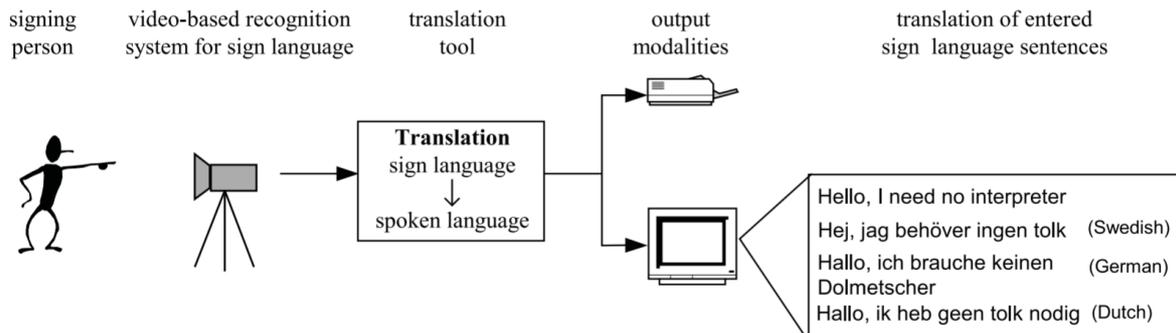


Figure 3.12: Architecture du projet de traduction “Translating from German SL “ (Bauer et al,1999)

3.3.2 Le projet SignSpeak

Dans la continuité du projet “Translating from German SL “, SignSpeak est un projet européen (Dreuw et al, 2010) dont l’objectif est la reconnaissance et la traduction automatique vers le texte à partir d’un système basé sur une approche statistique. Les différents traitements que nécessite ce projet sont présentés dans la figure 3.13.

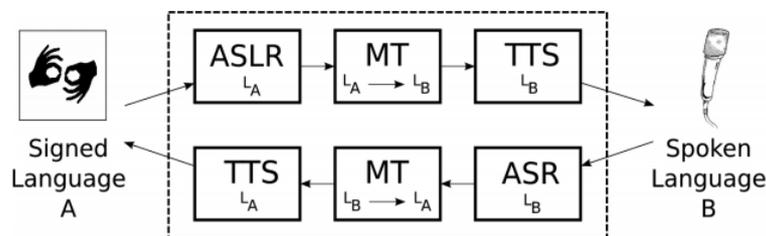


Figure 3.13: Les différents composants du projet SignSpeak (Dreuw et al, 2010)

(La reconnaissance automatique des unités signées (ASLR), la reconnaissance automatique de la parole (ASR), la traduction automatique (MT), dans un sens ou dans l’autre, ainsi que la synthèse vocale ou gestuelle (TTS))

La première phase (ASLR) porte sur la reconnaissance des signes en LS et s'attache à les convertir en une séquence de mots. Après un processus de suivi de quelques parties de la vidéo, essentiellement les deux mains et le visage, les unités signées sont reconnues sur la base d'une distribution de probabilité à partir de modèles de signes et de phrases déjà annotées (figure 3.14).

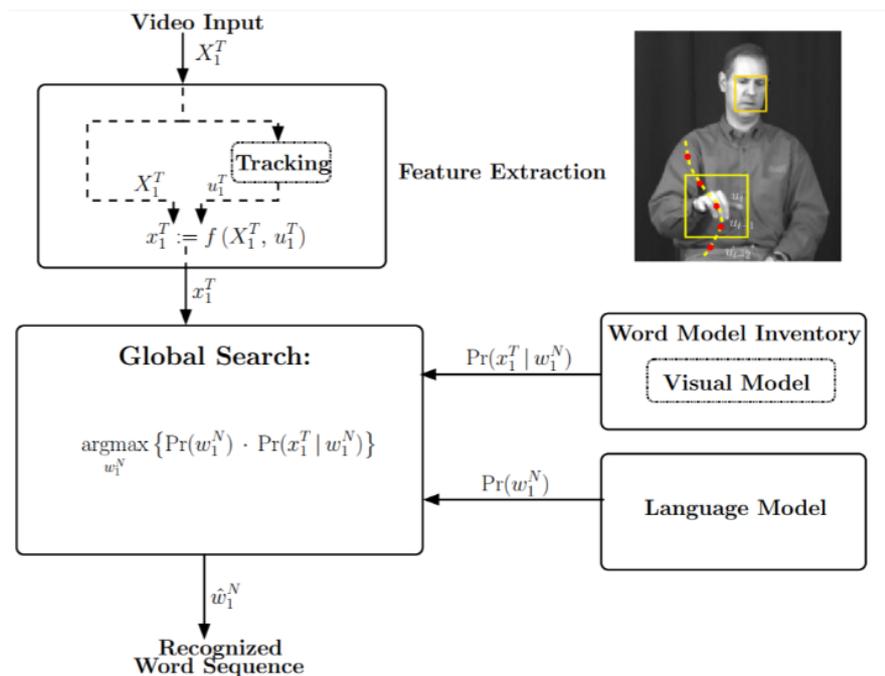


Figure 3.14: Système de reconnaissance d'une unité signée (Dreuw et al, 2010)

Dans le cadre de ce projet étant donné qu'un énoncé en LS est considéré comme une séquence de gloses, le processus de traduction repose sur les mêmes approches statistiques que celles appliquées dans les projets de traduction des langues vocales.

Les projets actuels utilisent de plus en plus les approches à base de réseaux de neurones profonds (deep learning) (Hinton et al., 2012), nécessitant de corpus encore plus conséquents. Ces projets sont, eux aussi, basés sur une représentation linéaire des énoncés en LS.

3.4 Les limites des théories conçues initialement pour les langues vocales

3.4.1 Les limites des théories linguistiques dérivationnelles

Un point important commun à la majorité des modèles présentés ci-avant pour la génération des LS est qu'ils s'appuient sur une grammaire basée sur un processus de dérivation. En effet, un input appartient à un langage uniquement si un processus de dérivation mène à lui. Un syntagme est jugé grammaticalement correct s'il est descriptible à partir d'un processus de dérivation de règles. Bien que certains modèles comme HPSG ne reposent pas directement sur un processus de dérivation (des règles syntagmatiques), ils utilisent néanmoins des schémas (de sous-catégorisation) permettant de créer une sorte d'arbre local pour vérifier les principes de niveau syntaxique. Les contraintes de dérivation sont prédites par les modèles en reposant sur les caractéristiques des langues linéaires, dans lesquelles une structure est considérée comme une séquence d'unités.

Dans le cadre de la description des LS, il nous paraît inadéquat de s'appuyer sur des formalismes initialement conçus pour prédire l'organisation linguistique des langues de modalité différente. Comme présenté dans le chapitre 2, une partie des structures en LS dépasse l'organisation linguistique telle qu'elle est définie dans les théories linguistiques classiques. Contrairement à la conception de la phrase dans l'ensemble des modèles dérivationnels, suite linéaire d'éléments terminaux, la modalité visuo-gestuelle des LS permet la construction de structures d'une nature différente en utilisant simultanément d'autres moyens d'expression tels que la mobilisation de plusieurs articulateurs et l'espace de signation.

3.4.2 Les difficultés de la modélisation des LS à partir d'approches statistiques

La modélisation d'une langue à partir d'une approche statistique impose un certain nombre de contraintes. Comme présenté dans la section 3.3, la fiabilité des résultats d'un modèle statistique, comme les HMM ou les réseaux de neurones, nécessite des corpus conséquents

pour réaliser la phase d'apprentissage. Les LS, n'ayant été considérées comme objets d'étude que très tardivement, manquent de corpus qui faciliteraient ce type d'approches.

De plus, à l'image des modèles linguistiques classiques, une approche à base d'apprentissage nécessite un découpage d'une structure en une séquence d'unités. En LS, nous avons montré que plusieurs structures ne peuvent répondre à ce principe. À cela, s'ajoute la variabilité de la forme d'une unité signée selon la nature du contexte. Comme exposé dans le chapitre 2, dans un énoncé, des unités comme BALLON peuvent subir des modifications de forme, caractéristique qui rend leur inventorisat ion préalable relativement complexe.

3.5 Des approches dédiées

Dans la perspective de modéliser plus spécifiquement les LS, d'autres travaux proposent des approches qui mettent l'accent sur les caractéristiques de la modalité visuo-gestuelle. Dans ce sens, Huenerfauth (2006) propose un modèle, nommé "P/C", permettant de prendre en compte la simultanéité de plusieurs articulations. Son approche a ensuite été reprise par López-Colino (2012). Le modèle "P/C" définit deux modes afin de décrire une combinaison d'unités signées : la constitution, donnant lieu à des "C-nodes" et la partition, des "P-nodes".

Les C-nodes permettent de présenter plusieurs nœuds fils sur un axe linéaire (figure 3.15). En d'autres termes, elles juxtaposent les unités signées sur l'axe temporel.

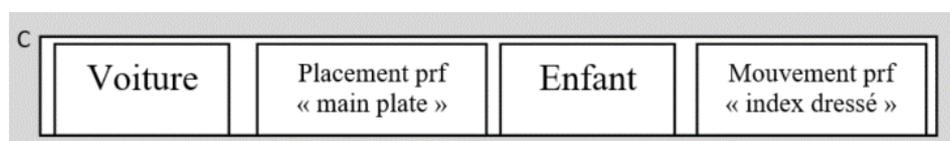


Figure 3.15: Exemple d'une représentation C-nodes (Filhol et Braffort, 2016)

Le "P-node" met en parallèle plusieurs axes afin de prendre en compte plusieurs articulateurs, notamment non manuels, sur le même axe temporel. Par exemple, la production de la structure présentée dans la figure 3.15, "l'enfant passe devant la voiture", implique non

seulement un certain nombre d'articulations manuelles, mais aussi le mouvement de certains articulateurs non manuels, comme le décrit la figure 3.16.

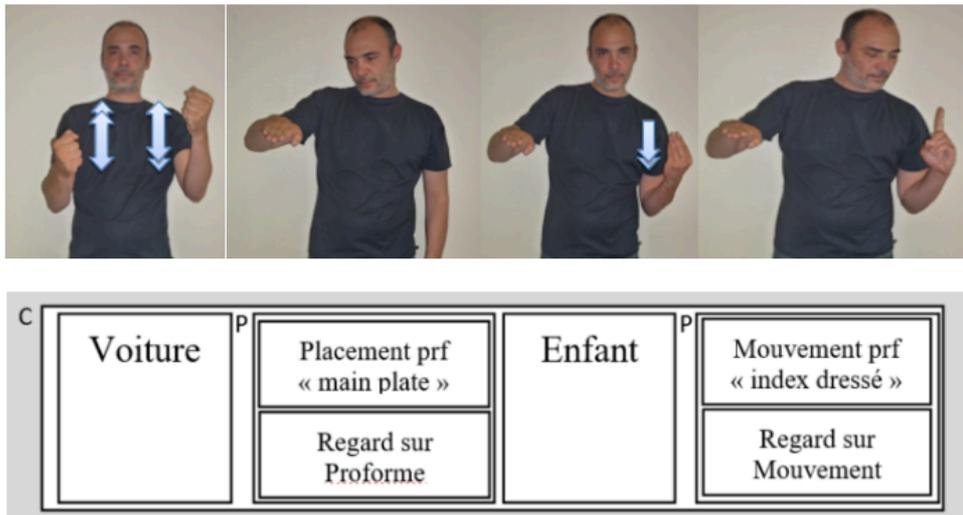


Figure 3.16: Exemple d'une représentation P/C (Filhol et Braffort, 2016)

Ainsi, le modèle P/C permet la prise en compte simultanée de plusieurs articulateurs caractérisant une unité signée sans avoir à leur attribuer une fonction grammaticale. Un geste non manuel, tel que le plissement ou le clignement des yeux, peut être décrit sans être forcément lié à une unité manuelle. Pour marquer le repos d'un articulateur dans une partition, il est possible d'utiliser un élément vide (\emptyset), désignant la partie nœud sans articulation. Cependant, de nombreux travaux en linguistique des LS, notamment ceux de Huenerfauth, observent que les différentes articulations s'alignent rarement au sein d'un même P-node, leur synchronisation étant beaucoup plus complexe.

3.6 Bilan

Dans ce chapitre, nous avons exposé les différentes approches utilisées pour modéliser des LS, en particulier dans un objectif de génération. Après avoir présenté, dans la première partie, quelques théories linguistiques et leur application aux LS, nous avons décrit quelques projets reposant sur une approche totalement statistique. L'ensemble de ces travaux, inspirés du

traitement des langues vocales, est basé sur la définition d'une structure en LS comme une séquence d'unités signées.

Cette représentation ne permet pas de décrire une partie des structures des LS qui repose sur la multilinéarité et l'exploitation de l'espace de signation. D'autres projets dédiés aux LS, comme le modèle "P/C" Huenerfauth (2006), incluent l'aspect multilinéaire des LS, mais ils ne permettent pas de prendre en compte les synchronisations en dehors des bornes d'une partition.

La génération des LS doit, selon nous, être fondée sur une approche qui ne soit pas conditionnée par les caractéristiques des langues linéaires. Dans cette perspective, nous proposons, dans le chapitre suivant, une approche empirique nous permettant de prendre en compte l'ensemble des spécificités liées à la modalité visuo-gestuelle des LS.

4 Présentation de la méthodologie

Comme évoqué dans le chapitre précédent, la plupart des travaux, dont l'objectif est de modéliser les LS, s'appuie sur des modèles conçus pour prédire des phénomènes linguistiques qui caractérisent les langues linéaires. Ainsi, la description de toute langue à partir de ce modèle nécessite l'adhésion à quelques principes, comme la séquentialité systématique, pour juxtaposer les unités.

Afin de décrire le fonctionnement des LS dans le cadre d'un projet de génération à partir d'un signeur virtuel, nous adoptons une approche non liée aux exigences formelles de modèles linéaires. En d'autres termes, aucune hypothèse ou prédiction d'une organisation linguistique n'est avancée préalablement. Nous nous fondons sur une approche de description plus générale, susceptible d'intégrer l'ensemble des phénomènes linguistiques observés dans les corpus de LS.

Dans ce chapitre, nous présentons, dans un premier temps, quelques notions sur lesquelles nous nous reposons tout au long de notre approche. La section 4.2 explique la méthodologie à partir de laquelle nous définissons des règles susceptibles de décrire le fonctionnement de la LSF. Nous concluons ce chapitre par une présentation des différentes parties permettant de générer des énoncés en LS par un signeur virtuel.

4.1 Notions fondamentales

4.1.1 Lien forme-fonction

L'approche sur laquelle nous nous basons consiste à définir, à partir d'études de corpus, un lien systématique entre des « **formes observables** » et annotables dans un logiciel d'annotation, et ce que nous nommons « **fonctions sémantiques** ».

Par la notion **forme observable**, nous entendons l'ensemble des articulations gestuelles, dont les différentes synchronisations qui peuvent avoir lieu entre elles. Prenons à titre d'exemple les articulations suivantes :

A : " Lever les sourcils "

B : " Mouvement de l'index vers le bas "

Selon le contexte, chacune de ces deux articulations peut être considérée comme une forme à part entière associée à une interprétation. Également, une forme observable peut inclure un chevauchement entre A et B (figure 4.1), dont la synchronisation est aussi une forme. Le schéma utilisé pour annoter les formes observées dans les corpus est présenté dans la section 4.3.

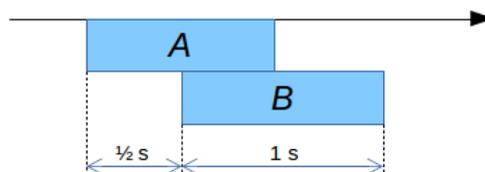


Figure 4.1: Description d'une forme

La notion de **fonction sémantique** désigne une interprétation attribuable à une forme observable ou à produire. Contrairement à la notion de "signifié" en linguistique générale, uniquement réservée aux concepts de signes lexicaux, la notion de fonction sémantique, dans notre approche, peut être liée à différents niveaux d'interprétation. Dans ce sens, les exemples ci-dessous sont considérés comme des fonctions possibles :

C : le concept de "crayon"

D : expression de doute sur un élément variable

E : localisation d'un objet (obj1) par rapport à un autre (obj2)

4.1.2 Règle de production

Les LS, comme l'ensemble des langues, sont considérées comme un système régi par une série de règles partagées par une communauté linguistique. Notre but est ici d'identifier ces

règles à partir d'une étude expérimentale. Toute association systématique entre une forme observable et une fonction sémantique donne lieu à une règle qui participe à l'organisation linguistique de la langue.

En traitement automatique des langues, nous distinguons des règles de production (liens de fonction à forme) et des règles d'interprétation (liens de forme à fonction). Étant donné que notre projet a pour but la génération de la LSF, nous nous intéressons uniquement aux règles de production. Les règles d'interprétation sont plutôt pertinentes dans le cadre de projets de reconnaissance des unités signées. Une fois une règle de production définie, elle est formalisée à partir du langage AZee (Filhol, 2014) présenté dans la section 4.4.1. Chaque règle est constituée de trois éléments :

- **Un identifiant** : généralement un nom abrégé qui fait référence à une fonction sémantique.
- **Des arguments de la règle** : il s'agit de l'ensemble des paramètres dont la règle peut dépendre. Ils peuvent être de nature très différente. Par exemple, une règle de production permettant de localiser un objet (obj1) par rapport à un autre objet (obj2) implique deux arguments (deux unités signées). En outre, une règle de production qui nécessite un emplacement dans une partie précise dans l'espace de signation dépend d'un argument pour le désigner (un point dans l'espace).
- **Une forme associée** : ce sont les formes invariables de la règle. Il s'agit de l'ensemble des articulations et des différentes synchronisations entre elles.

Une règle de production peut être illustrée par des diagrammes de boîtes (figure 4.2), plus illustratifs que des représentations du formalisme AZee, avec :

- L'axe horizontal est l'axe du temps de production ;
- Les cases bleu clair sont les formes paramétrées de la règle. Les articulateurs sont mis en gras et leurs postures désignées en italique ;
- Les cases teintées de rouge représentent les intervalles de temps durant

lesquels un argument est à produire.

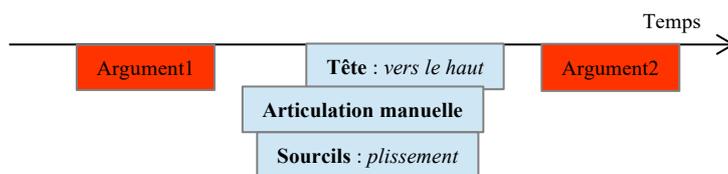


Figure 4.2: Exemple d'une règle de production

4.2 Méthodologie

Afin d'identifier, à partir des études de corpus, des règles de production qui nous permettent de modéliser des énoncés en LSF, nous nous basons sur une démarche initiée par Filhol (2012, 2013). En commençant par un critère de forme ou de fonction, la méthodologie consiste à effectuer des itérations de fonction à forme afin de repérer un groupe de formes paramétrées identiques, associé à la même fonction sémantique. Nous parlons dans ce cas d'une identification d'une règle de production. Nous présentons les différentes parties de cette approche dans le développement suivant :

1. Introduire un critère de départ X à spécifier. Il peut s'agir d'une forme ou d'une fonction.
2. Repérer et lister toutes les occurrences de X dans un corpus choisi. 'Nocc' désigne le nombre d'occurrences trouvées.
3. Pour chaque occurrence du critère X , associer des éléments de description qui sont :
 - Des éléments d'interprétation si X est un critère de forme ;
 - Des formes observables si X est un critère de fonction sémantique.
4. Identifier les groupes d'occurrences partageant des éléments identiques.
 - 'Ngp' est le nombre de groupes identifiés, ceux-ci étant numérotés de 1 à Ngp ;
 - Pour chaque $k \in [1...Ngp]$: D_k est l'ensemble des éléments de description associés à toutes les occurrences du groupe k ;

- ‘Nout’ est le nombre d'occurrences qui ne sont incluses dans aucun groupe.
5. **Si** X est une fonction, qui peut éventuellement dépendre d'arguments $\{A_1, A_2, A_n\}$, **et** $N_{gp} = 1$, **et** $N_{out} < 15\%$ de l'ensemble des occurrences dans l'unique groupe constitué

alors : on définit une règle de production pour la fonction X et sa forme associée. Elle est spécifiée par ce triplet :

Identifiant = X
Arguments = $\{A_i\}$
Forme = D_1

Sinon pour chaque groupe k : procéder à l'étape 1 avec le nouveau critère X.k, spécifié par D_k .

Comme présenté dans l'illustration de la méthodologie (figure 4.3), en nous basant sur des corpus LSF, notre objectif est d'identifier un lien entre une fonction sémantique et un groupe de formes identiques susceptibles de dépendre d'arguments. Lorsqu'un groupe unique de fonction à forme est défini, il est formalisé par une règle de production à partir du langage AZee.

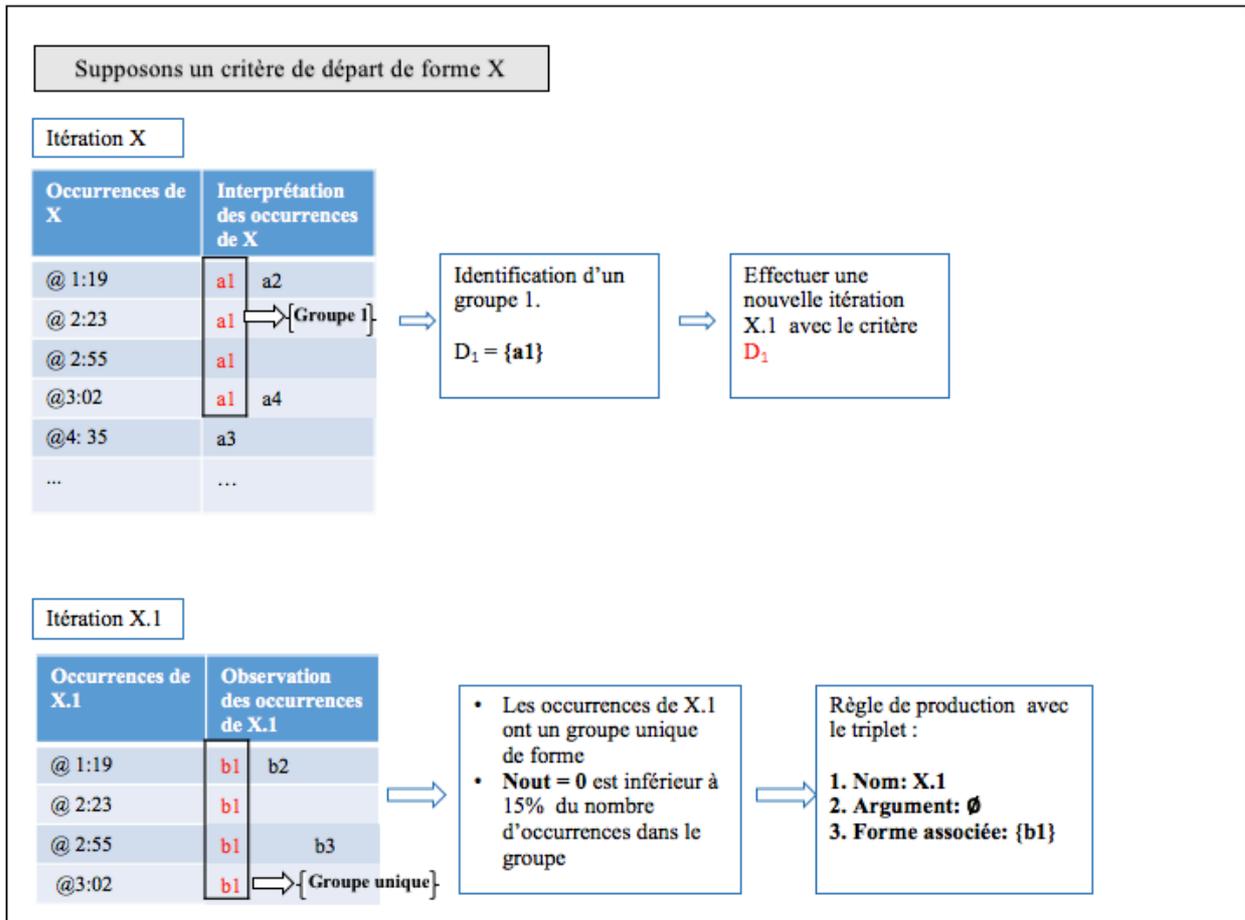


Figure 4.3: Illustration de la méthodologie

4.3 Description de la forme

L'ensemble des règles de production définies dans le cadre de cette thèse repose sur des formes observées dans des corpus vidéo de LSF. Nous exposons ci-après les choix effectués pour l'annotation de la forme ainsi que le logiciel utilisé.

4.3.1 Les choix d'annotation

L'objectif de notre tâche d'annotation de corpus LSF est d'avoir la description la plus complète et la plus objective possible d'une forme. Pour ce faire, notre processus d'annotation doit prendre en compte les postures complexes des différentes parties du corps. Chaque articulateur pertinent dans la construction d'une forme est défini comme une piste d'annotation.

Il est annoté à partir d'un certain nombre d'attributs qui décrivent ses différentes postures. La plupart des attributs liés à une piste donnée sont identifiés à partir d'une posture standard qui correspond à l'état d'un articulateur dans une situation de repos avant le processus de signation. Si l'on prend pour exemple la piste "sourcils" (figure 4.4), la définition des deux attributs "vers le bas" et "vers le haut" est mesurée à partir de l'attribut "standard".

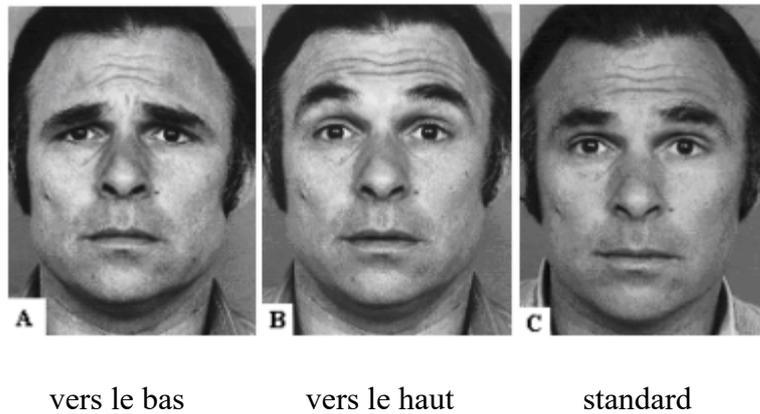


Figure 4.4: Les attributs de la piste sourcils, tiré de (Chételat, 2010)

Il faut également noter que nous ne nous appuyons sur aucun modèle d'annotation en particulier. Les pistes ainsi que leurs attributs ont été définis selon les besoins d'annotation des formes observées dans le corpus. Le tableau 4.1 reprend l'ensemble des articulateurs ainsi que leurs postures retenues dans notre processus d'annotation.

Tableau 4.1: Schéma d'annotation

	Pistes	Attributs
Schéma d'annotation	sourcils (src)	v.haut (v.h) v.bas (v.b) standard (s)
	paupières (paup)	max-ouvert (m-ouv) ouvert (ouv) plissé (pl) fermé (fermé)
	langue (lg)	interieur (int) visible (vis)
	direction du regard (dr)	vers l'interlocuteur (inter) vers l'espace de signation (esp.sign)
	tête	standard (s) vers le haut (v.h) vers le bas (v.b) vers la droite (v.d) vers la gauche (v.g) vers l'avant (v.av) vers l'arrière (v.ar)
	buste (bst)	vers la droite (v.d) vers la gauche (v.g) vers l'avant (v.av) vers l'arrière (v.ar)
<p>Pour les mains, dominante (mdte) et dominée (mdé), nous annotons séparément l'articulation de chaque doigt. Pour une meilleure représentation, elles seront présentées dans les chapitres suivants par des captures d'écran.</p>		

4.3.2 Le logiciel d'annotation retenu

Les études de corpus en LS reposent, pour la plupart, sur des données vidéo et utilisent des logiciels d'annotation multimédia tels qu'Anvil (Kipp, 2004) ou Elan (Tacchetti, 2017) pour segmenter et annoter les formes. Dans notre démarche, nous avons opté pour le logiciel ILex (Hanke et Storz, 2008) développé par l'institut d'Hambourg¹⁰. C'est le seul logiciel d'annotation spécifiquement conçu pour l'annotation des LS et lié à une base de données qui permet l'enregistrement des différentes annotations. Cette caractéristique simplifie le traitement des données au niveau de l'analyse et aide à repérer plus facilement les occurrences de formes identiques ou l'analyse d'une piste en particulier. La figure 4.5 représente l'interface d'annotation d'une vidéo en ILex. Contrairement à la majorité des logiciels d'annotation, l'axe du temps se déroule de haut en bas.

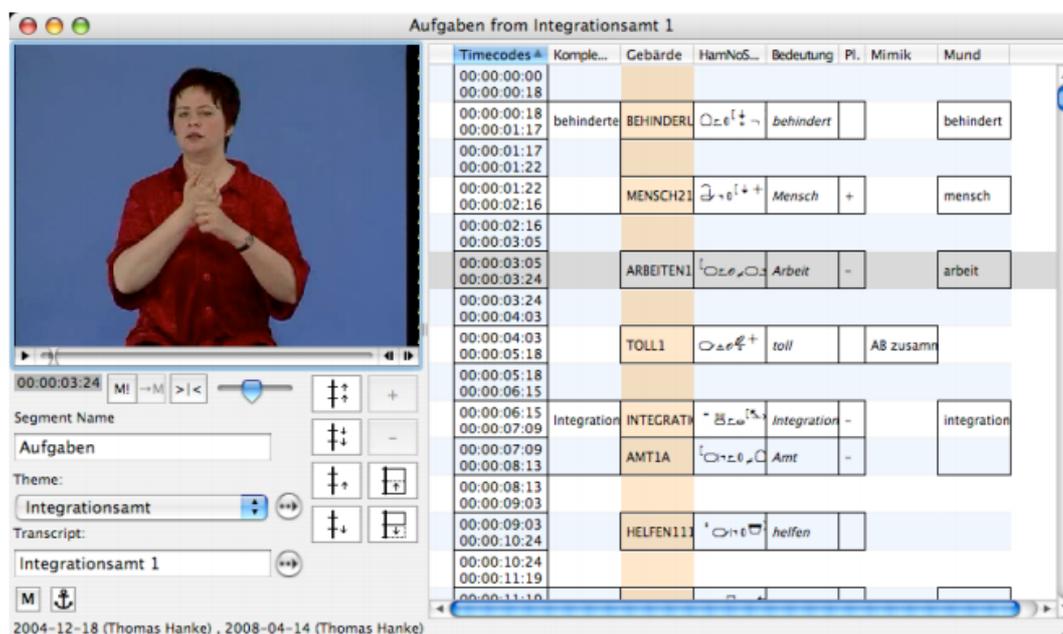


Figure 4.5: Illustration du logiciel ILex (Hanke et Storz, 2008)

¹⁰ <https://www.idgs.uni-hamburg.de/>

4.4 Formalisation des règles

Une fois les règles de production définies à partir d'une étude de corpus, elles sont formalisées depuis le langage fonctionnel AZee et animées par un signeur virtuel en reposant sur des logiciels d'animation. Nous présentons, dans les sections suivantes, les différentes parties à travers lesquelles passe notre processus de la génération de la LSF.

4.4.1 Le formalisme AZee

Le langage fonctionnel AZee est une extension du formalisme Zebedee (Filhol, 2008) conçu au départ pour décrire uniquement des séquences de postures. Contrairement à la plupart des modèles qui s'appuient sur une segmentation paramétrique pour décrire un signe, Zebedee se fonde sur des contraintes temporelles et articulatoires. Au niveau temporel, la description d'une unité s'inspire de la notation phonétique de Liddell & Johnson (1989). Il s'agit de la prise en compte des postures initiales, intermédiaires et finales d'une unité signée ainsi que des transitions dynamiques entre elles. Contrairement aux modèles paramétriques qui décrivent un signe à partir d'un ensemble fixe de paramètres, le modèle Zebedee spécifie uniquement les contraintes d'articulation nécessaires et suffisantes, aucune valeur paramétrique telle que celles définies par Stokoe (1960) n'étant obligatoire. Quoique ce modèle permette une description plus souple des unités signées, il n'inclut pas la description des gestes non manuels ni non plus les synchronisations qui peuvent avoir lieu entre les différentes articulations.

Afin de répondre à ces limites et de proposer un modèle plus générique et expressif, la version actuelle du formalisme, nommée AZee, permet de décrire l'ensemble des formes observées dans les corpus de LS. Elle prend en compte l'ensemble des articulateurs ainsi que les différents types de synchronisation.

À l'image d'un langage fonctionnel typé, les instruments de base du modèle AZee constituent un ensemble de types, d'opérateurs et de constantes. Nous développons, dans cette

section, uniquement les types nécessaires à la compréhension de la formalisation des règles de production. Les instruments du langage AZee sont présentés dans l'Annexe 2.

Le type qui permet une articulation dynamique (décrire une expression durable dans le temps) est le type SCORE. En d'autres termes, l'articulation des formes (les boîtes bleues dans les diagrammes AZee) ainsi que leurs différentes synchronisations sont effectuées dans le langage AZee à partir d'un SCORE. Le script ci-dessous est une expression AZee de type SCORE de la figure 4.1. Pour une meilleure lisibilité, il est accompagné de commentaires précédés par le symbole (%).

- 1.% expression du score de la figure 4.1
- 2.% synchronisant deux blocs nommés A et B
- 3.sync
4. 'A
5. [contenu de A]
6. 'B
7. [contenu de B]
8. 'start/dur % synchronisation de B avec un début et une durée (ci-dessous)
9. 'A:start:0,5 % durée en secondes à partir du début de A
10. 1 % durée de B en secondes

Au contraire du modèle P/C nodes, en AZee, les synchronisations entre les articulateurs ne sont pas liées par les contraintes d'une partition bornée ; il est possible de synchroniser l'ensemble des articulations, quelle que soit leur nature. Cela permet de respecter l'ensemble des synchronisations que l'on peut observer dans les données des LS.

Comme nous l'avons montré dans notre méthodologie, une partie des règles de production nécessite des arguments. Ces règles sont formalisées en AZee avec un AZop, type équivalent à une fonction dans un langage de programmation fonctionnel, celui-ci faisant appel

à des paramètres dont dépend la règle. Le script ci-dessous est un exemple AZOP qui décrit la règle présentée dans la figure 4.2.

```
1.% expression de l'azop de la figure 4.2,
2.% synchronisant 5 blocs dont deux arguments de type score
3.azop
4.  'argument1 % 1er argument de l'azop
5.  'nodefault % pas de valeur par défaut (argument obligatoire)
6.  'argument2 % 2e argument de l'azop
7.  'nodefault % pas de valeur par défaut (argument obligatoire)
8.  % ci-dessous la valeur résultat : un score à 5 blocs synchronisés
9.  sync
10.      %% 1er bloc : "argument1"(ARG1)
11.      'ARG1    % nom du bloc
12.      ^argument1 % son contenu est donné par le 1er argument fourni (^ = ref)
13.      %% 2e bloc : articulation manuelle (MAN)
14.      'MAN
15.      [description de l'articulation manuelle]
16.      'start
17.      'ARG1:end:.2 % l'articulation manuelle à partir du début de l'argument1
18.      %% 3e bloc : mouvement des sourcils (SRCL)
19.      'SRCL
20.      [description du mouvement des sourcils]
21.      'start/end % début et fin de l'articulation des sourcils par rapport à MAN
22.      'MAN:start:.1
23.      'MAN:end:.1
24.      %% 4e bloc : mouvement de la tête
```

34. 'TÊTE
35. [description du mouvement de la tête]
36. 'start/end % début et fin du mouvement de la tête par rapport à SRCL
37. 'SRCL:start:.25
38. 'MAN:end:.15
39. %% 5e bloc : "argument2" (ARG2)
40. 'ARG2
41. ^argument2
42. 'start % début de l'articulation de l'argument 2 par rapport à MAN
43. 'MAN:end:.25

Les lignes 4 à 7 sont des déclarations d'arguments de l'AZOP, incluant leurs noms et leurs valeurs. Les lignes 8 à 43 représentent les différentes synchronisations qui caractérisent la forme de la règle.

4.4.2 L'animation du formalisme AZee

Les descriptions des règles à partir du formalisme AZee ont été implémentées dans un prototype nommé KAZOO (Braffort et al, 2016), application web permettant de générer des descriptions AZee à partir d'un signeur virtuel. L'architecture globale du projet, représentée dans la figure 4.6, se compose des parties suivantes :

- La base de données (DB) est un serveur PostgreSQL. Elle est constituée de l'ensemble des règles de production AZee, mais elle permet aussi d'intégrer d'autres formats de représentation tels que des animations à partir des techniques de rotoscopie ou des représentations de capture de mouvements.
- Le serveur web (WebS), construit sur une architecture client-serveur, permet de récupérer la demande de l'utilisateur et d'afficher l'animation d'un signeur virtuel. Il

inclut une interface visant à collecter la requête de l'utilisateur et à identifier des éléments disponibles dans la base de données. Il fournit aussi une fenêtre WebGL pour afficher l'animation du signeur virtuel.

- Le module de génération LS (SL Gene) permet la conversion de l'entrée de l'utilisateur en une représentation AZee ainsi que le calcul de son animation en utilisant le logiciel GeneALS et en intégrant également des spécifications liées à l'expression du visage.
- Le module d'animation du signeur virtuel (VS Anim) prend pour entrée la description XML générée par le module Gene SL. Il produit l'animation dans une fenêtre WebGL, et repose en partie sur les fonctions du logiciel d'animation Octopus.

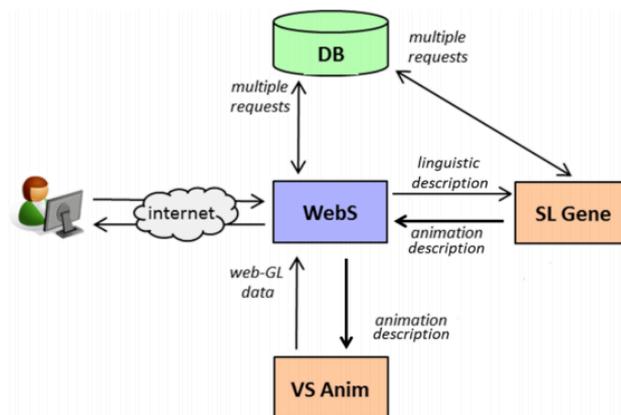


Figure 4.6: Architecture globale de KAZOO (Braffort et al, 2016)

Plus récemment, un nouveau projet (Filhol et McDonald, 2017) a été créé, dont l'objectif est d'animer les représentations AZee à partir du système d'animation Paula (Parent, 2012). À l'image du langage AZee, le processus d'animation de Paula permet de prendre en compte des pistes parallèles sans que leurs synchronisations soient contraintes par le geste manuel ou limitées par une partition dont les pistes partagent les mêmes bornes temporelles. De plus, le fait que Paula s'appuie sur de nombreuses techniques d'animation permet d'animer l'avatar de manière plus naturelle. Les premières expériences effectuées ont démontré une compatibilité intéressante entre les deux systèmes.

4.5 Bilan

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes parties de notre démarche consistant à définir des règles de production permettant de générer des énoncés en LSF. Afin de proposer une approche de description linguistique qui intègre les caractéristiques des LS, nous partons d'une hypothèse générale qui ne suppose pas, *a priori*, d'organisation linguistique. Elle consiste à identifier, à partir d'études de corpus, un groupe de formes observables identiques associées à la même fonction sémantique. Une fois ce lien de fonction à forme établi suivant notre méthodologie, une règle de production est définie. Dans le cadre de notre projet de génération de la LSF, les règles sont décrites avec le formalisme fonctionnel AZee sous sa forme graphique en diagrammes pour une meilleure lisibilité. L'ensemble des règles de production que nous avons définies, dans le cadre de cette thèse, est décrit dans le chapitre suivant.

5 Études et résultats

Dans le chapitre précédent, nous avons décrit notre approche afin de déterminer des règles de production. Celle-ci consiste à définir des règles à partir de l'identification d'un lien entre une fonction sémantique et un groupe de formes observables dans les corpus LSF. Ces règles sont ensuite formalisées à l'aide du formalisme AZee. L'objectif de ce chapitre est de présenter les études réalisées en appliquant cette méthodologie en vue de formaliser quelques fonctionnalités en LSF susceptibles de présenter un nombre d'occurrences suffisant dans les corpus choisis afin d'effectuer les observations et les analyses nécessaires.

Nous exposons, dans un premier temps, les corpus vidéo LSF sur lesquels nous nous appuyons dans les différentes études. La section 5.2 présente une étude portant sur l'expression de la durée en LSF. La section 5.3 envisage la description de quelques types de localisation. Ce chapitre s'achève sur une description de certaines relations de juxtaposition entre les unités signées.

5.1 Les corpus retenus

Les LS, reconnues très tardivement comme des langues à part entière, manquent de ressources qui en permettent une description linguistique détaillée et étendue. Les rares corpus susceptibles d'offrir une taille suffisante sont issus de la traduction instantanée. Bien que ce type de traduction joue un rôle important dans l'accessibilité à l'information à la communauté sourde, il peut néanmoins être affecté par le fonctionnement de la langue source. Ainsi, il est difficile de s'appuyer sur ce type de corpus pour décrire l'organisation linguistique des LS.

Dans les années 2000, le début de la reconnaissance de la LSF en tant que langue à part entière a favorisé la constitution de nouveaux corpus de référence permettant d'étudier certaines caractéristiques linguistiques de la LSF. Nous citons, à titre d'exemples, le corpus LS-

COLIN¹¹.(Cuxac, 2002), le corpus Creagest¹² (Balvet et al, 2010), ainsi que le corpus Dicta-Sign¹³ (Efthimiou et al, 2012).

Dans le cadre de notre projet d'identification de règles de production afin de générer des énoncés en LSF, les brèves journalistiques AFP¹⁴ fournies par l'entreprise Websourd nous semblent les plus adéquates, et ce pour diverses raisons :

- Les brèves journalistiques présentent des événements très variés, ce qui permet d'analyser le même phénomène linguistique dans différents contextes. Cette caractéristique est moins fréquente dans d'autres corpus comme Dicta-Sign qui s'appuie essentiellement sur un matériel d'élicitation sur le thème des transports.
- Les brèves journalistiques AFP sont signées par des locuteurs sourds professionnels dans un registre journalistique. Leur processus de traduction repose sur un travail de déverbalisation qui se détache du fonctionnement du français écrit. Cet aspect est important, car il fournit une langue des signes standard non influencée par la langue source.

Nous présentons, dans la section ci-dessous, les deux corpus impliquant les signeurs de Websourd, sur lesquels se base l'ensemble des études présentées dans ce chapitre. Ils sont nommés respectivement le corpus "des 40 brèves" et "Websourd AFP 2007".

5.1.1 Le corpus "des 40 brèves"

Le corpus "des 40 brèves" (Filhol et Tannier, 2014) est un corpus parallèle (français écrit- LSF) comportant 40 brèves journalistiques sélectionnées à partir de l'ensemble des brèves AFP de l'année 2006 (Annexe 3). Chaque brève a été traduite par 3 informateurs différents, ce

¹¹ <https://cocoon.huma-num.fr/exist/crdo/ark:/87895/1.17-484045>

¹² <http://www.sfl.cnrs.fr/creagest>

¹³ <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/dicta-sign/portal/>

¹⁴ <https://www.afp.com/>

qui permet de limiter l'impact du style d'un signeur en particulier sur la définition des règles. Ce corpus est constitué de 120 vidéos d'une durée globale d'environ une heure.

Pour disposer d'un corpus homogène présentant plusieurs occurrences des mêmes phénomènes linguistiques, les auteurs ont sélectionné, à partir des 980 brèves écrites en 2006, un ensemble contenant un certain nombre de critères sémantiques que nous citons ci-dessous :

- Succession d'événements : un événement qui a lieu avant ou après un autre événement.

Exemple : « Christophe Beck, éleveur français de 62 ans enlevé au Venezuela il y a un peu plus d'un an [...], est revenu en France dimanche, **cinq jours après** avoir été libéré pour une rançon. »

- Durée d'un événement dans le temps

Exemple : « Un homme de 25 ans qui voulait braquer un bureau de Poste à Limay (Yvelines) a retenu jeudi **pendant trois heures** cinq personnes en otage avant d'être tué par la police. »

- Relations causales entre deux événements :

Exemple : « Au moins 525 personnes ont été tuées en Indonésie par un tsunami **causé le lundi par** un séisme sous-marin... »

- Répétition d'événements.

Exemple : « Le lancement de la navette spatiale Atlantis est attendu mercredi [...], après avoir été annulé **trois fois** depuis le 27 août en raison de [...] »

La totalité de la traduction a été filmée par deux caméras, une de face et une sur le côté, dont les vues ont été synchronisées, puis montées (figure 5.1), ce qui facilite l'annotation de quelques postures difficilement observables à partir d'une seule vue.



Figure 5.1: Capture d'une vidéo du corpus "des 40 brèves"

5.1.2 Le corpus "websourd AFP 2007"

Le corpus "Websourd AFP 2007" est constitué de 2000 brèves AFP de 2007. Il a été signé tout au long de cette année par les signeurs de l'entreprise Websourd et son contenu porte sur diverses rubriques : économie, politique, santé, etc. Cependant, il ne représente pas le même avantage que le corpus des "40 brèves", où chaque structure est signée par 3 locuteurs. Néanmoins, toutes les brèves assurent un nombre d'occurrences pertinent comportant le même phénomène linguistique ainsi que sa présentation par plusieurs signeurs.

5.2 Application de la méthodologie

Nous présentons, dans cette section, les différentes études effectuées en appliquant la méthodologie exposée dans le chapitre précédent. Chaque étude débute par un critère de départ X à partir duquel est réalisé un processus d'itération entre fonction et forme. Pour toute règle de production identifiée, il est précisé son triplet : identifiant, arguments et forme associée.

5.2.1 Expression de la durée

De nombreuses études comme celles de Cuxac (2000), Fuzellier et Leix (2005), considèrent que la LSF ne grammaticalise pas le temps. Celui-ci est plutôt exprimé de manière

iconique en utilisant différents axes dans l'espace de signation. Les corpus "des 40 brèves" et "Websourd AFP 2007" portant en partie sur l'expression de la durée en LSF, il nous paraît intéressant d'étudier ces structures et d'identifier des règles de production permettant de les modéliser. Nous avons commencé ce travail par un critère de départ de fonction D : une durée qui s'écoule. À partir d'une première itération entre fonction et forme, nous avons identifié 6 groupes différents de formes. Ainsi chaque groupe a donné lieu à de nouvelles itérations entre la forme et la fonction, les dernières nous ayant permis de définir 6 règles de production. Nous présentons, dans les sous-sections suivantes, le déroulement de l'ensemble des itérations, ainsi que les règles de production qui ont émergé de cette étude.

5.2.1.1 Première itération D

Itération D : une durée qui s'écoule (critère de fonction)

Exemple : "Le Français Bernard Planche, 52 ans, a été retenu en otage en Irak pendant **35 jours.**"

Corpus : Le corpus "des 40 brèves ", " Websourd AFP 2007 "

- $Nocc^{15} = 187$
- $Ngp = 6$
- $Nout = 14$

Groupe D.1 :

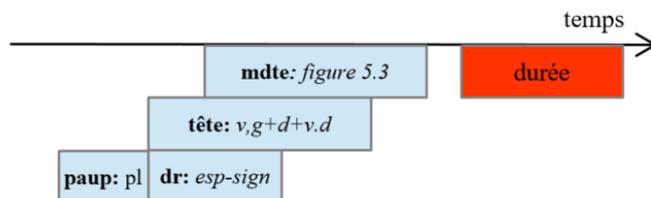


Figure 5.2: Forme du groupe D.1

¹⁵ Rappel ; 'Nocc' est le nombre d'occurrences de D identifiées dans les corpus, 'Ngp' est le nombre de groupes associés à D, 'Nout' est le nombre d'occurrences qui ne sont identifiées dans aucun groupe.



Figure 5.3: Forme de la main dominante dans le groupe D.1

La forme du groupe D.1 est composée des articulations suivantes :

- Plissement des yeux (paup : pl)
- Mouvement de la tête de la gauche vers la droite (tête : v.g + d + v.d)
- Main dominante (mdte) : figure 5.3
- Direction du regard vers l'espace de signation (dr : esp-sign)
- Argument 1 : durée

Groupe D.2 :

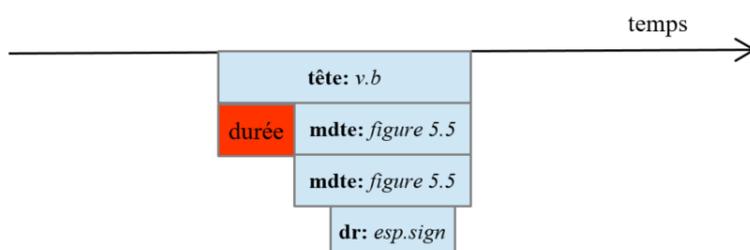


Figure 5.4: Forme du groupe D.2



Figure 5.5: Forme de la main dominante et de la main dominée dans le groupe D.2

La forme du groupe D.2 est composée des articulations suivantes :

- Argument1 : durée

- Mouvement de la tête vers le bas (tête : v.b)
- Main dominante (mdte) et main dominée (mdé) : figure 5.5
- Direction du regard vers l'espace de signation (dr : esp-sign)

Groupe D.3 :

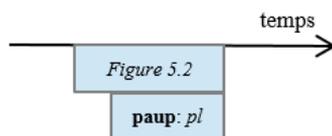


Figure 5.6: Forme du groupe D.3

La forme du groupe D.3 est composée des articulations suivantes :

- Figure 5.2 : groupe D.1
- Plissement des yeux (paup : pl)

Groupe D.4 :

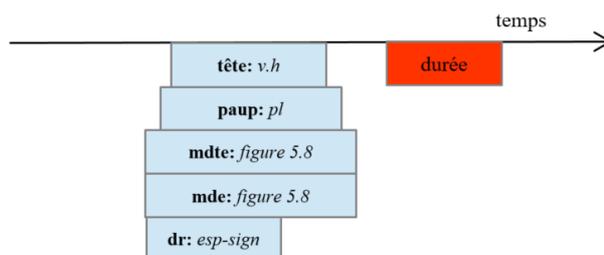


Figure 5.7: Forme du groupe D.4



Figure 5.8: Forme de la main dominante et de la main dominée dans le groupe D.4

La forme du groupe D.4 est composée des articulations suivantes :

- Mouvement de la tête vers le haut (tête : v.h)
- Plissement des yeux (paup : pl)
- Les articulations de la main dominante (mdte) et de la main dominée

(mdé) : figure 5.8.

- Direction du regard vers l'espace de signation (dr : esp-sign)
- Argument 1 : durée

Groupe D.5 :

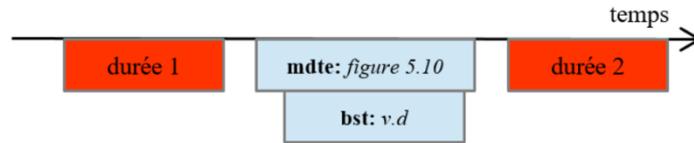


Figure 5.9: Forme du groupe D.5



Figure 5.10: Forme de la main dominante dans le groupe D.5

La forme du groupe D.5 est composée des articulations suivantes :

- Argument 1 : durée 1
- Main dominante (mdte) : figure 5.10
- Buste : de la gauche vers la droite pour un signeur droitier (bst : v.d)
- Argument 2 : durée 2

Groupe D.6 :

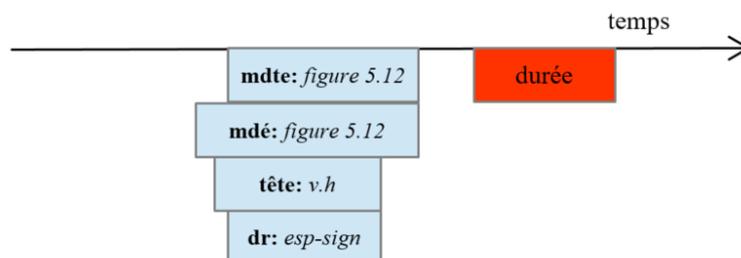


Figure 5.11: Forme du groupe D.6



Figure 5.12: Forme de la main dominante et de la main dominée dans le groupe D.6

La forme du groupe D.6 est composée des articulations suivantes :

- Main dominante (mdte) et main dominée (mdé) : figure 5.12
- Mouvement de la tête vers le haut (tête : v.h)
- Direction du regard vers l'espace de signation (dr : esp-sign)
- Argument 1 : durée

Nouvelles itérations à partir des groupes de D

Dans notre approche, chaque groupe d'occurrences identifié devient un critère de départ pour une nouvelle itération. Nous présentons ci-dessous les différentes itérations à partir des 6 groupes de formes identifiés lors de la première itération.

Le critère de forme D.1 : groupe D.1

- Nocc = 34
- Ngp = 1
- Nout = 2

Groupe unique : durée de séparation supérieure à 15 jours entre deux événements

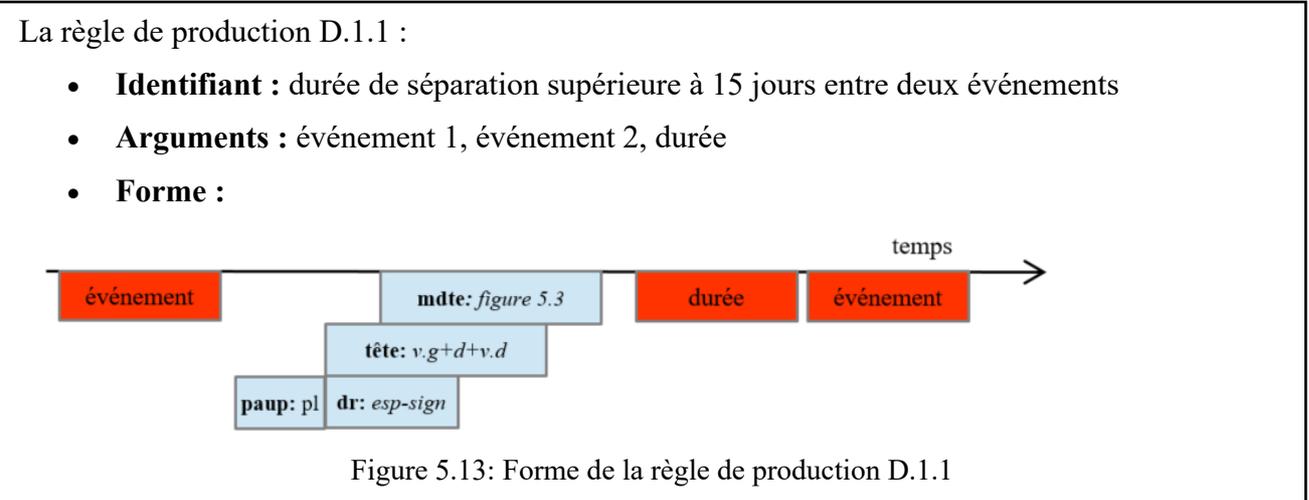
Exemple : L'Italie, au bout d'une finale interminable..., a privé Zinedine Zidane, exclu en prolongation, d'une deuxième étoile, en remportant face à la France sa quatrième Coupe du monde de football, **24 ans après** la dernière.

Étant donné que le critère de départ de cette itération est un critère de forme, et que notre objectif consiste à identifier des règles de production, une nouvelle itération de fonction à forme est nécessaire pour vérifier que le groupe unique de forme ne renvoie pas à plusieurs fonctions.

Le critère de fonction D.1.1 : durée de séparation supérieure à 15 jours entre deux événements

- Nocc = 32
- Ngp = 1
- Nout = 0

La condition SI (5) de notre méthodologie est vérifiée ; l'itération débute par un critère de fonction associé à un groupe invariable de formes, ce qui définit une règle de production, spécifiée comme suit :



Le critère de forme D.2 : Groupe D.2

- Nocc = 24
- Nout = 2
- Ngp = 1

Groupe unique : durée de séparation inférieure à 15 jours entre deux événements

Exemple : Le processus de sortie de coma d'Ariel Sharon se poursuivait progressivement mercredi, alors que son équipe soignante le dit hors de danger "immédiat" **une semaine après** son attaque cérébrale.

Le critère de fonction D.2.1 : durée de séparation inférieure à 15 jours entre deux événements.

- Nocc = 22
- Ngp = 1
- Nout = 0

La règle de production D.2.1 :

- **Identifiant** : durée de séparation inférieure à 15 jours entre deux événements
- **Arguments** : événement 1, événement 2, durée
- **Forme** :

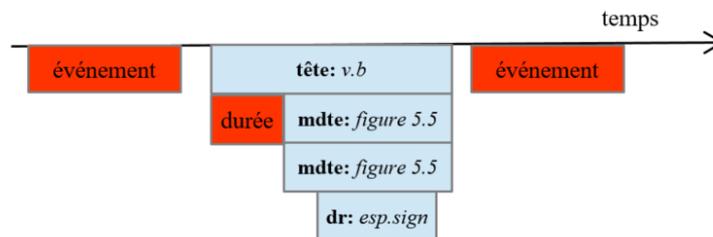


Figure 5.14: Forme de la règle de production D.2.1

Le critère de forme D.3 : Groupe D.3

- Nocc = 35
- Nout = 4
- Ngp = 1

Groupe unique : un événement d'une durée supérieure à 15 jours.

Exemple : Le Premier ministre israélien Ehud Olmert et le président palestinien Mahmoud Abbas ont promis jeudi lors d'une rencontre informelle en Jordanie, la première à ce niveau depuis un an, de se rencontrer à nouveau pour remettre le processus de paix sur les rails.

Le critère de fonction D.3.1 : un événement d'une durée supérieure à 15 jours.

- Nocc = 31
- Ngp = 1
- Nout = 0

La règle de production D.3.1 :

- **Identifiant** : durée d'un événement supérieur à 15 jours
- **Arguments** : événement, durée
- **Forme** :



Figure 5.15: Forme de la règle de production D.3.1

Le critère de forme D.4 : Groupe D.4

- Nocc = 24
- Nout = 3
- Ngp = 1

Groupe unique : un événement d'une durée inférieure à 15 jours.

Exemple : Un homme de 25 ans qui voulait braquer un bureau de Poste à Limay (Yvelines) a retenu jeudi pendant **trois heures** cinq personnes en otage avant d'être tué par la police.

Le critère de fonction D.4.1 : un événement d'une durée inférieure à 15 jours.

- Nocc = 21
- Ngp = 1
- Nout = 0

La règle de production D.4.1 :

- **Identifiant** : durée d'un événement inférieur à 15 jours.
- **Arguments** : événement, durée
- **Forme** :

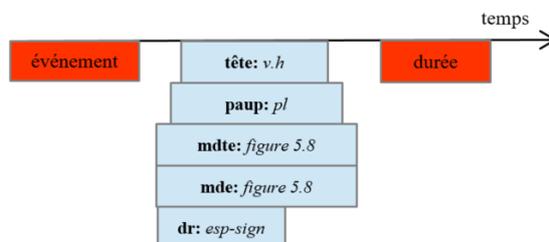


Figure 5.16: Forme de la règle de production D.4.1

Le critère de forme D.5 : Groupe D.5

- Nocc = 31
- Nout = 3
- Ngp = 1

Groupe unique : un événement entre deux bornes temporelles.

Exemple : La cour d'appel d'Aix-en-Provence a revu à la baisse mercredi les condamnations dans l'affaire des transferts suspects de l'Olympique de Marseille entre **1997 et 1999**, condamnant l'ancien entraîneur Rolland Courbis...

Le critère de fonction D.5.1 : un événement entre deux bornes temporelles.

- Nocc = 28
- Ngp = 1
- Nout = 0

La règle de production D.5.1 :

- **Identifiant** : événement entre deux bornes temporelles
- **Arguments** : événement, borne1, borne2
- **Forme** :



Figure 5.17: Forme de la règle de production D.5.1

Le critère de forme D.6 : Groupe D.6

- Nocc = 25
- Nout = 3
- Ngp = 1

Groupe unique : un événement partant du présent pour aller à une autre borne temporelle

Exemple : La Commission européenne proposera mercredi que l'UE s'engage à réduire "d'au moins 20%" ses émissions de gaz à effet de serre **d'ici 2020** par rapport à 1990...

Le critère de fonction D.6.1 : un événement partant du présent pour aller à une autre borne temporelle

- Nocc = 22
- Ngp = 1
- Nout = 0

La règle de production D.6.1 :

- **Identifiant** : un événement partant du présent pour aller à une autre borne temporelle
- **Arguments** : événement, borne2.
- **Forme** :

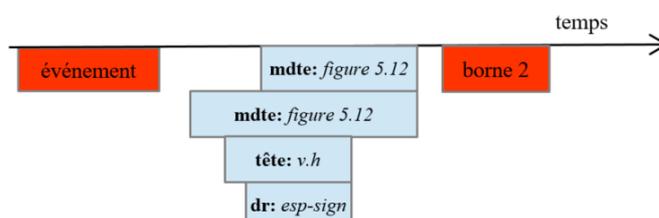
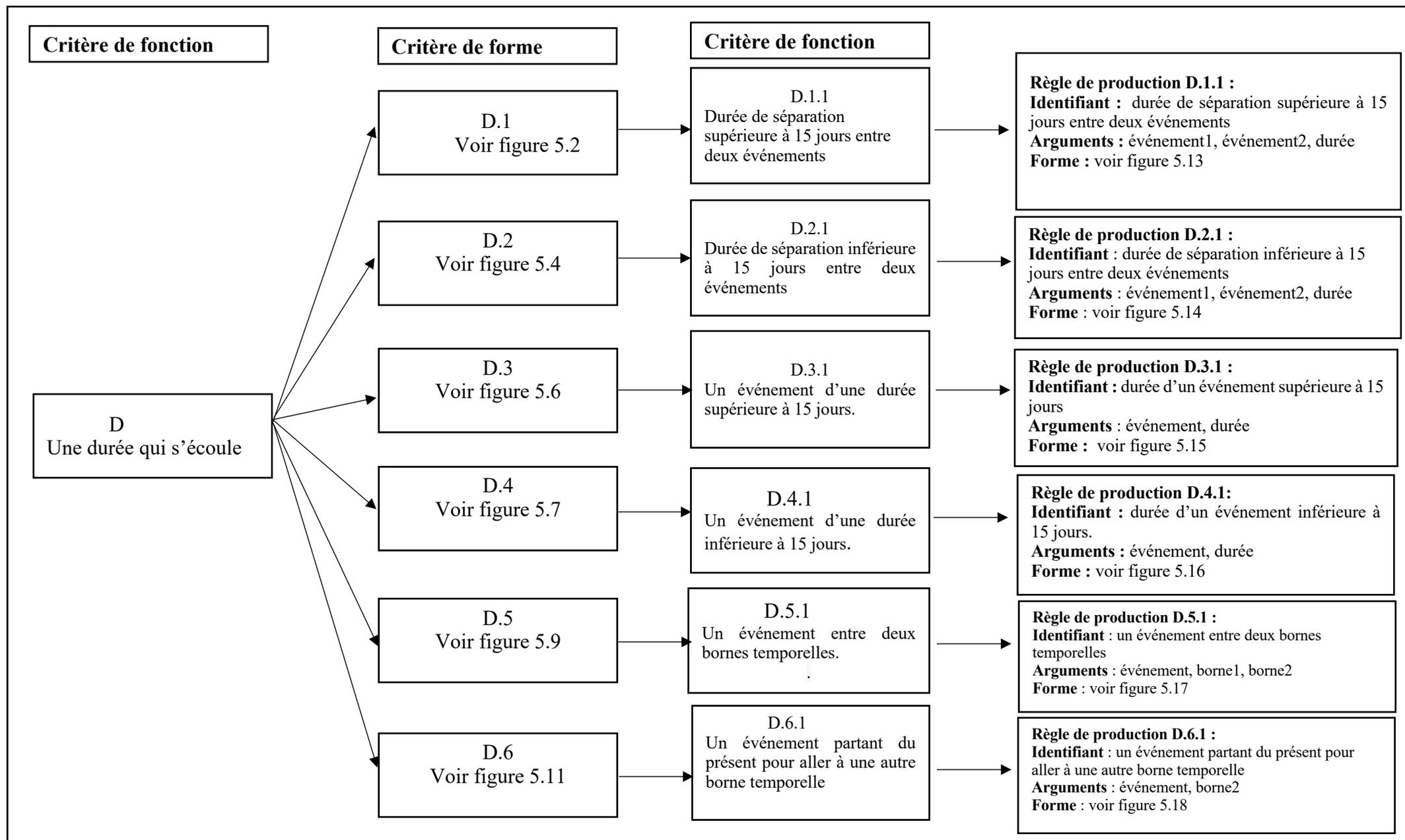


Figure 5.18: Forme de la règle de production D.6.1

5.2.1.2 Synthèse de l'étude D

En partant du critère de départ de fonction « une durée qui s'écoule », nous avons défini 6 règles de production. Le tableau 5.1 synthétise l'ensemble des itérations effectuées pour déterminer ces règles.

Tableau 5.1: Synthèse de l'étude portant sur la durée



5.2.2 Expression de la localisation géographique

Comme souligné dans le chapitre 2, une partie des structures en LSF ne respecte pas nécessairement l'ordre linéaire des unités signées, mais repose plutôt sur des caractéristiques propres aux LS, telles que la multilinéarité et l'utilisation de l'espace de signation. Dans le but d'étudier ce type de structures dans les corpus choisis, nous débutons cette étude par un critère de départ L : la localisation géographique d'un lieu 1 par rapport à un lieu 2. L'expression d'un lien entre un repère et un repéré pourrait nécessiter une représentation plus complexe qu'une suite linéaire d'unités signées. Nous montrons ci-dessous le déroulement de cette étude.

5.2.2.1 Première itération L

Itération L : Localisation d'un lieu 1 par rapport à un lieu 2 (critère de fonction)

Exemple : “Des dizaines de milliers de Chiites sont arrivés lundi à **Najaf (160 km au sud de Bagdad)**” (lieu 1 : Najaf, lieu 2 : Bagdad)

Corpus : “ Websourd AFP 2007”

Nocc= 147

Ngp = 3

Nout = 15

Groupe L.1 :

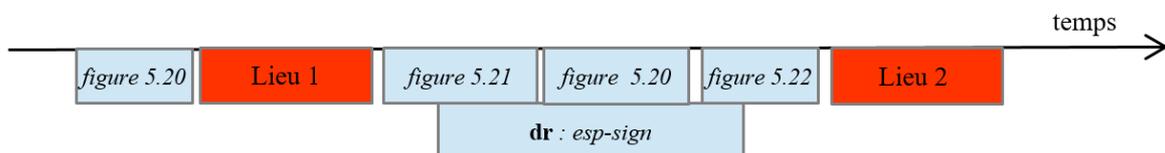


Figure 5.19 : Forme du groupe L.1



Figure 5.20: Pointage

Figure 5.21: Articulation des deux mains

Figure 5.22: Localisation

La forme du groupe L.1 est composée de :

- Articulation de la main dominante : figure 5.20
- Argument : lieu 1
- Articulation de la main dominée (mdé) et de la main dominante (mdte) : figure 5.21
- Articulation de la main dominante (mdte) : figure 5.20
- Articulation de la main dominée (mdé) et de la la main dominante (mdte) : figure 5.22
- Direction du regard vers l'espace de signation (dr : esp-sign)
- Argument 2 : lieu 2

Groupe L.2 :

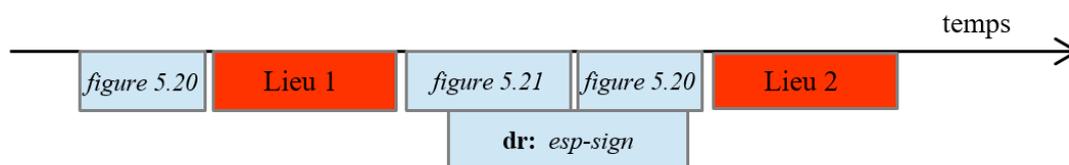


Figure 5.23: Forme du groupe L.2

La forme du groupe L.2 est composée de :

- Articulation de la main dominante : figure 5.20
- Argument : lieu 1
- Articulation de la main dominée (mdé) et de la main dominante (mdte) : figure 5.21

- Articulation de la main dominante (mdte) : figure 5.20
- Direction du regard vers l'espace de signation (dr : esp-sign)
- Argument 2 : lieu 2

Groupe L.3 :

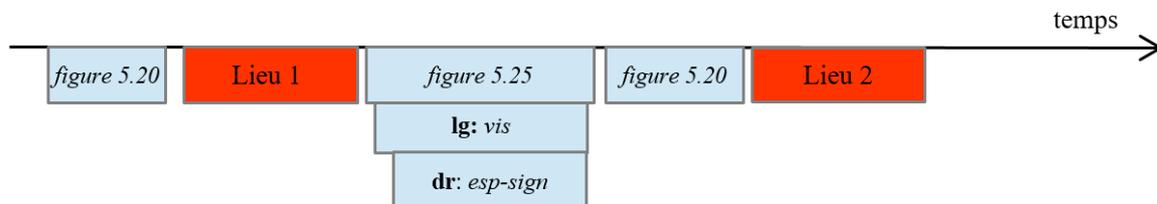


Figure 5.24: Forme du groupe L.3



Figure 5.25: PRÈS

La forme du groupe L.3 est composée de :

- Articulation de la main dominante : figure 5.20
- Argument : lieu 1
- Articulation de la main dominante (mdte) et de la main dominée (mdé): figure 5.25
- Langue du locuteur : visible (lg : vis)
- Direction du regard : vers l'espace de signation (dr : esp-sign)
- Articulation de la main dominante (mdte) : figure 5.20
- Argument 2 : lieu 2

Nouvelles itérations à partir des groupes de L

Nous présentons, dans les sections suivantes, les différentes itérations effectuées à partir des 3 groupes de formes identifiées lors de la première itération, ainsi que les règles de production définies.

Critère de forme L.1 : Groupe L.1

- Nocc = 70
- Ngp = 1
- Nout = 5

Groupe unique : le lieu 2 est une partie avec des frontières non définies du lieu 1

Exemple : lieu 1 “France”, lieu 2 “ sud de la France”

Critère de fonction L.1.1. Le lieu 2 est une partie avec des frontières non définies du lieu 1

- Nocc = 65
- Ngp = 1
- Nout = 0

Règle de production L.1.1 :

- **Identifiant** : le lieu 2 est une partie avec des frontières non définies du lieu 1
- **Arguments** : lieu 1, lieu 2
- **Forme** : voir figure 5.19

Critère de forme L.2 : Groupe L.2

- Nocc = 33
- Ngp = 1
- Nout = 6

Groupe unique : le lieu 2 est une partie avec des frontières définies du lieu 1

Exemple : lieu 1 “France”, lieu 2 “ Marseille”

Critère de fonction L.2.1 : le lieu 2 est une partie avec des frontières définies du lieu 1

- Nocc = 27
- Ngp = 1
- Nout = 0

Règle de production L.2.1 :

- **Identifiant** : le lieu 2 est une partie avec des frontières définies du lieu 1
- **Arguments** : lieu 1, lieu 2
- **Forme** : voir figure 5.23

Critère de forme L.3 : Groupe L.3

- Nocc = 29
- Ngp = 1
- Nout = 4

Groupe unique : le lieu 1 est à proximité du lieu 2

Exemple : « Les chefs de la diplomatie du G8 se retrouvent mercredi à **Potsdam près de Berlin** pour préparer l'agenda international chargé du sommet de Heiligendamm (6-8 juin) ». Le lieu 1 : Postam est près du lieu 2 : Berlin.

Critère de fonction L.3.1: le lieu 2 est à proximité du lieu 1

- Nocc = 25
- Ngp = 1
- Nout = 0

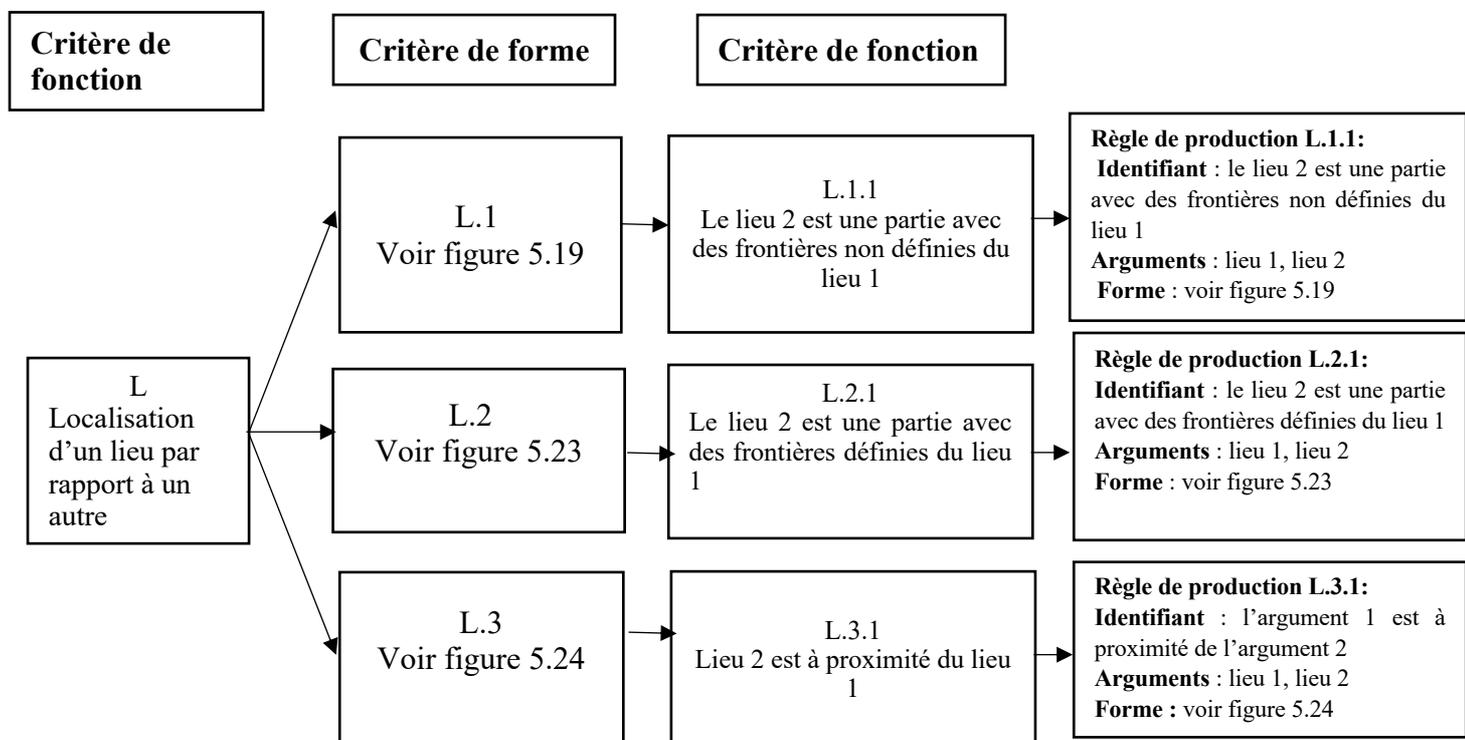
Règle de production L.3.1 :

- **Identifiant** : le lieu 2 est à proximité du lieu 1
- **Arguments** : lieu 1, lieu 2
- **Forme** : voir figure 5.24

5.2.2.2 Synthèse de l'étude L

En débutant par un critère de départ de fonction L : la localisation d'un lieu par rapport à un autre, nous avons défini, après plusieurs itérations, 3 règles de production. Le tableau 5.2 montre une synthèse de l'ensemble des itérations effectuées ainsi que les règles de production définies dans le cadre de cette étude.

Tableau 5.2: Synthèse de l'étude portant sur la localisation géographique



5.2.3 La juxtaposition en tant que forme

Comme présenté dans le chapitre 3, la plupart des travaux en traitement automatique des langues signées s'appuie sur des grammaires génératives pour formaliser les LS. Ainsi, une structure signée est décrite à partir d'un processus de dérivation de règles défini *a priori*. Dans notre approche, aucune règle de production n'est déterminée préalablement pour répondre à des

contraintes imposées par une grammaire. Toute règle de production permettant de juxtaposer des unités signées doit être motivée par un lien de fonction à forme.

Dans cette perspective, nous entamons cette étude par un critère de départ de forme J : la juxtaposition de deux items successifs et interprétables. Cette juxtaposition peut porter sur la succession de deux unités interprétables comme l’item 1 “pays” et l’item 2 “Brésil”, mais également sur un item 1 “pays Brésil” et un item 2 “sa localisation géographique”. Nous montrons ci-dessous le déroulement de cette étude.

5.2.3.1 Première itération J

ITERATION J : Juxtaposition entre deux items (critère de forme)

Corpus : le corpus “des 40 brèves”

- Nocc = 321
- Ngp = 7
- Nout = 21

Groupe J.1 : l’item 2 donne l’état de l’item 1. Il peut porter sur son nom, son statut, sa propriété...

Exemple : item 1= “Pays” ; item 2= “Côte-d’Ivoire” (l’item 2 désigne le nom de l’item 1)

Groupe J.2 : l’item 1 est localisé par rapport à l’item 2

Exemple : item 1= Égypte ; item 2= la Mer Rouge (l’item 1, Égypte, est localisé par rapport à l’item 2, la Mer Rouge)

Groupe J.3 : l’item 1 présente le contexte de l’item 2

Exemple : l’item 1 = aujourd’hui, 3 mai ; l’item 2 = “l’élection présidentielle” (l’item 1 est le contexte temporel de l’item 2 : “l’élection présidentielle”)

Groupe J.4 : Épellation

Exemple : plusieurs arguments : #P #A #R #I #S

Groupe J.5 : Succession chronologique d'événements

Exemple : événement 1, événement 2

Groupe J.6 : Négation du premier item et affirmation du second

Exemple : Il ne s'agit pas de ce groupe mais plutôt de l'autre

Groupe J.7 : Énumération

Exemple : item 1= Pierre, item 2=Marie, item 3= Jean...

Nouvelles itérations à partir du groupe J.1

Dans le cadre cette thèse, nous analysons essentiellement les occurrences issues du groupe J.1. Les fonctions provenant des autres groupes nécessitent une analyse plus fine qui peut comporter plusieurs itérations.

Critère de fonction J.1 : "l'item 2 décrit l'état de l'item 1

- Nocc = 153
- Ngp = 3
- Nout = 11

Groupe J.1.1 : Une durée de transition de 0,2 à 0,3 seconde entre les deux items et un mouvement de la tête vers le haut au début du deuxième item.

Groupe J.1.2 : Une durée de transition de 0,2 à 0,3 seconde entre les deux items et un mouvement de la tête vers le haut au début du premier item.

Groupe J.1.3 : Une longue durée de séparation de 0,8 à 0,9 seconde entre les deux items.

Critère de forme J.1.1 : Une durée de transition de 0,2 à 0,3 seconde entre les deux items et un mouvement de la tête vers le haut au début du deuxième item.

- Nocc = 70
- Ngp = 1
- Nout = 5

Groupe unique : L’item 2 donne une information supplémentaire sur l’item 1 (info-supp)

Exemple : “Pierre, âgé de 25 ans, est pris en otage” ; Item 1 = « Pierre », Item 2= « âgé de 25 ans »

Critère de fonction J.1.1.1 : L’item 2 donne une information supplémentaire sur l’item 1

- Nocc = 65
- Ngp = 1
- Nout = 0

Règle de production J.1.1.1 :

- **Identifiant :** info-supp
- **Arguments :** item de base (item), information supplémentaire (info-supp)
- **Forme :**

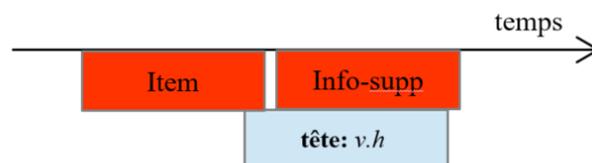


Figure 5.26: Forme de la règle J.1.1.1

Critère de forme J.1.2 : Une durée de transition de 0,2 à 0,3 seconde entre les deux items et un mouvement de la tête vers le haut au début du premier item.

- Nocc = 33
- Ngp = 1

• Nout = 6

Groupe unique : L'item 2 donne la catégorie de l'item 1 (cat).

Exemple : item 1 = « pays » ; Item 2 = « France »

Critère de fonction J.1.2.1 : l'item 2 donne la catégorie de l'item 1

• Nocc = 27

• Ngp = 1

• Nout = 0

Règle de production J.1.2.1

- **Identifiant :** cat
- **Arguments :** L'item de base (item) et sa catégorie
- **Forme :**

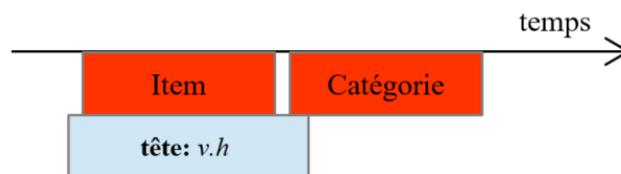


Figure 5.27: Forme de la règle de production J.1.2.1

Critère de forme J.1.3 : longue durée de séparation (0,8 à 0,9 seconde) entre les deux items

• Nocc = 39

• Ngp = 1

• Nout = 6

Groupe unique : l'item 2 est un focus de l'item 1.

Exemple : « la puissance est le tourisme » ; Item 1 = « puissance », Item 2 = « tourisme »

Critère de fonction J.1.3.1 : l'item 2 est un focus de l'item 1.

- Nocc = 33
- Ngp = 1
- Nout = 0

La règle de production J.1.3.1 :

- **Identifiant** : info-focus
- **Arguments** : item de base (item), info sur l'item de base (focus)
- **Forme** :

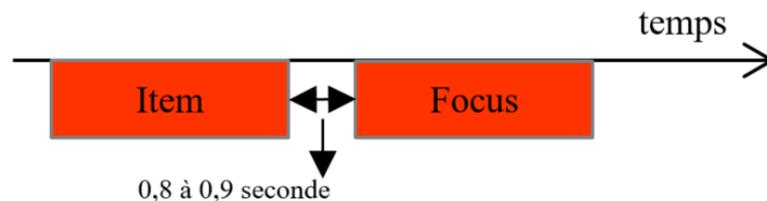
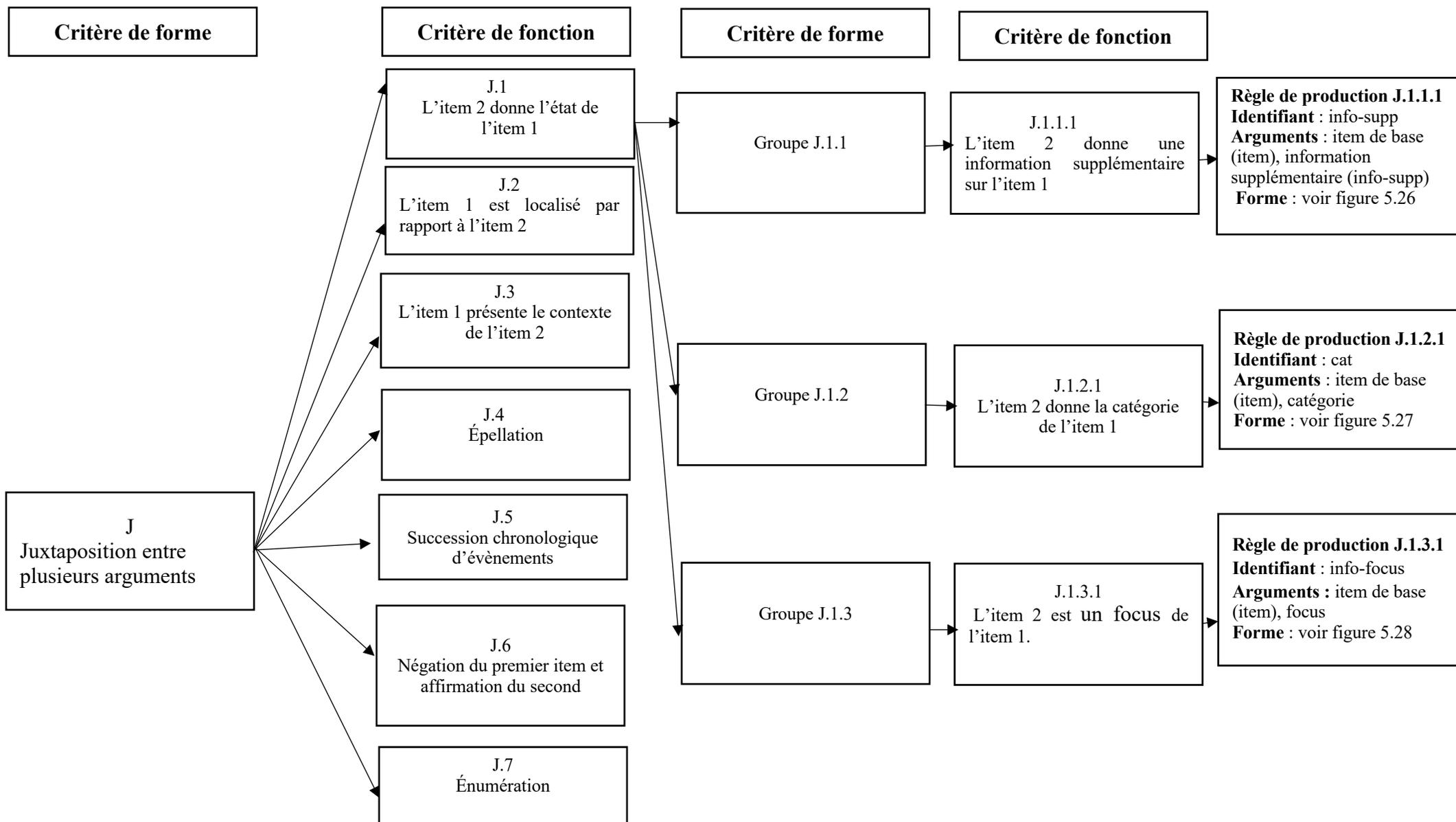


Figure 5.28: Forme de règle de production J.1.3.1

5.2.3.2 Synthèse de l'étude J

Contrairement aux deux premières études, nous avons commencé celle portant sur la juxtaposition entre deux items successifs et interprétables par un critère de forme. Après avoir identifié plusieurs groupes de fonction à partir de la première itération, nous avons étudié uniquement les occurrences du groupe J.1 : l'item 2 donne l'état de l'item 1. Nous présentons, dans le tableau 5.3, une synthèse de l'ensemble des itérations effectuées, ainsi que les règles de production qui ont été identifiées à partir de cette étude.

Tableau 5.3: Synthèse de l'étude portant sur la juxtaposition entre les items



5.3 Discussion

L'identification des règles de production à partir de notre approche nous a permis de repérer quelques regroupements sémantiques non répertoriés jusqu'ici dans les dictionnaires LSF. Dans l'étude D, qui débute par un critère de fonction : une durée qui s'écoule, nous observons que le choix de la forme permettant d'exprimer la durée d'un événement, ou la durée de séparation entre deux événements, dépend de sa longueur. Si l'on prend pour exemple la durée d'un événement inférieure à 15 jours, les signeurs l'expriment par la règle de production (D.4.1). Dans le cas où elle est supérieure, un événement qui dure plusieurs semaines ou plusieurs mois, c'est l'utilisation de la règle de production (D.3.1) qui est observée.

De plus, afin d'exprimer la durée d'un événement entre deux bornes temporelles, par exemple : un événement qui dure de 1900 à 1905, nous avons identifié la règle de production (D.5.1). Par ailleurs, la forme répertoriée pour cette fonction dans les dictionnaires LSF est l'unité signée "JUSQU'À" (figure 5.29).



Figure 5.29: JUSQU'À

Bien que la forme que nous avons observée dans les corpus et celle proposée dans les dictionnaires LSF représentent la même configuration manuelle, elles sont articulées sur deux axes différents. Dans le dictionnaire IVT, par exemple, l'articulation manuelle suit l'axe sagittal, alors que les formes manuelles que nous avons observées sont signées sur l'axe frontal (de la gauche vers la droite pour un signeur droitier). Cette distinction n'est pas secondaire,

dans la mesure où, au sein de nombreuses études (Cuxac, 2000) ; (Fusellier et Leix, 2003) ; (Sinte, 2015), la description du système temporel des LS est fondée en partie sur le choix de l'axe spatial. Il importe également de souligner que dans la règle D.5.1, l'articulation manuelle est en synchronie avec d'autres articulateurs comme la direction du regard et le mouvement du buste.

Dans la même étude portant sur une durée qui s'écoule, nous avons identifié la même articulation manuelle pour deux fonctions sémantiques différentes, à savoir :

1. Une durée de séparation supérieure à 15 jours entre deux événements.

Exemple : Le Congrès américain a approuvé jeudi un projet de loi très contesté définissant un cadre juridique pour les prisonniers de la "guerre contre le terrorisme", **près de cinq ans après** l'ouverture du camp de Guantanamo.

2. Une durée d'un événement supérieure à 15 jours

Exemple : Le Français Bernard Planche, 52 ans, retenu en otage en Irak **pendant 35** jours, a retrouvé samedi la liberté près de Bagdad...

La seule articulation qui nous a permis de distinguer les deux regroupements sémantiques est une articulation non-manuelle. En vue de marquer la durée de l'événement, la forme D.1 (figure 5.2) est accompagnée d'un plissement des yeux, alors qu'aucune articulation des paupières n'est observée dans les occurrences désignant une durée de séparation supérieure à 15 jours entre deux événements. Prendre en compte tous les articulateurs au même niveau sans leur attribuer de fonctions linguistiques *a priori* nous a permis de distinguer deux formes comportant deux interprétations sémantiques différentes.

Dans l'étude concernant la localisation géographique, nous avons observé des structures de formes dépassant une succession d'unités lexicales. L'emplacement d'un lieu par rapport à un autre (la règle L.1.1 et la règle L.2.1) est représenté à travers une projection dans l'espace. Comme observé dans de nombreuses études, les parties de l'espace de signation sont activées

par le regard avant que les entités soient localisées à des emplacements pertinents de l'espace de signation.

Dans l'étude J : juxtaposition entre deux items, nous avons identifié, à partir d'un lien de fonction à forme, des combinaisons sémantiques spécifiques à la LSF. Si l'on prend l'exemple de la règle de production cat (item 1 : item de base, item 2 : sa catégorie), on constate que la même représentation sémantique est exprimée dans les langues vocales par un seul item (la catégorie). Il convient également de souligner que ce type de constructions sémantiques propres aux LS du type repère-repéré, déterminant-déterminé, tout-partie... a aussi été observé dans d'autres études qui s'appuient sur des théories cognitives (Risler, 2000 ; Lejeune, 2004).

5.4 Bilan

Ce chapitre concerne l'application de la méthodologie présentée dans le chapitre précédent afin de définir des règles de production visant à générer des énoncés en LSF. Ces règles consistent à identifier un groupe identique de formes observables partageant la même fonction sémantique. Une fois ce lien déterminé, la forme est décrite à partir du formalisme AZee permettant de générer des énoncés à l'aide de l'animation d'un signeur virtuel. La première étude de ce chapitre s'est donnée pour but de définir des règles afin de modéliser diverses structures temporelles en LSF. La deuxième étude traitait de la modélisation de quelques structures portant sur la localisation géographique en LSF. Nous avons conclu ce chapitre par une étude dont l'objectif était de formaliser certains types de juxtaposition entre les unités signées observées dans les corpus. Nous présentons dans le chapitre suivant leur fonctionnement comme étant un ensemble susceptible de décrire des structures complètes.

6 Les règles AZee comme système

Nous avons précédemment exposé les règles de production identifiées à partir des études de corpus indépendamment les unes des autres. Dans le cadre de notre projet de génération, nous proposons de les considérer comme un ensemble formant un système en vue d'envisager une grammaire formelle.

Nous présentons, dans la première partie de ce chapitre, une évaluation de la capacité des règles à constituer un système susceptible, à terme, de couvrir l'ensemble des structures en LSF. La deuxième partie est une ouverture sur la conception d'une grammaire formelle qui permet d'évaluer l'acceptabilité d'une structure en LSF sans s'appuyer sur un processus de dérivation.

6.1 De la règle à un système

Nous avons constaté, dans les travaux précédents, qu'une partie des règles de production nécessitait des arguments. En d'autres termes, leur production passe au moins par un niveau d'imbrication. Nous émettons l'hypothèse selon laquelle cette imbrication peut atteindre plusieurs niveaux afin de générer des structures en LSF à partir d'un ensemble de règles. Si cette hypothèse est vérifiée, les règles AZee peuvent être considérées comme un système pouvant servir de point de départ pour concevoir une grammaire formelle pour la LSF.

Afin d'évaluer cette hypothèse, nous avons décrit 14 brèves du corpus "des 40 brèves", en prenant pour base les règles définies dans le cadre de cette thèse, sachant qu'une partie nécessite un certain raffinement, à savoir les différents regroupements sémantiques identifiés dans l'étude portant sur la juxtaposition des unités. Nous avons également utilisé d'autres

règles identifiées dans les travaux de l'équipe M&TALS¹⁶. Nous montrons, dans les sous-sections suivantes, les points les plus importants ayant émergé de cette étude

6.1.1 La récursivité des règles

L'aspect récursif des règles, l'enchâssement d'une structure à l'intérieur d'une autre, est une caractéristique permettant de générer un ensemble infini de structures à partir d'un ensemble fini de règles. Afin de formaliser la structure complète d'une brève journalistique, nous avons, dans un premier temps, décrit des combinaisons de formes par les règles disponibles comportant une fonction sémantique appropriée. Par exemple, la description de la succession des unités PAYS et BRÉSIL, si la forme observée le permet, s'effectue à partir de la règle de production **cat** (J.1.2.1). Une fois les règles de production de premier niveau définies, nous tentons de trouver celles susceptibles de les combiner. Par exemple, la forme suivante en LSF, "la ville touristique Dahab" (figure 6.1), est décrite à partir des règles de production par l'imbrication présentée dans la figure 6.3.

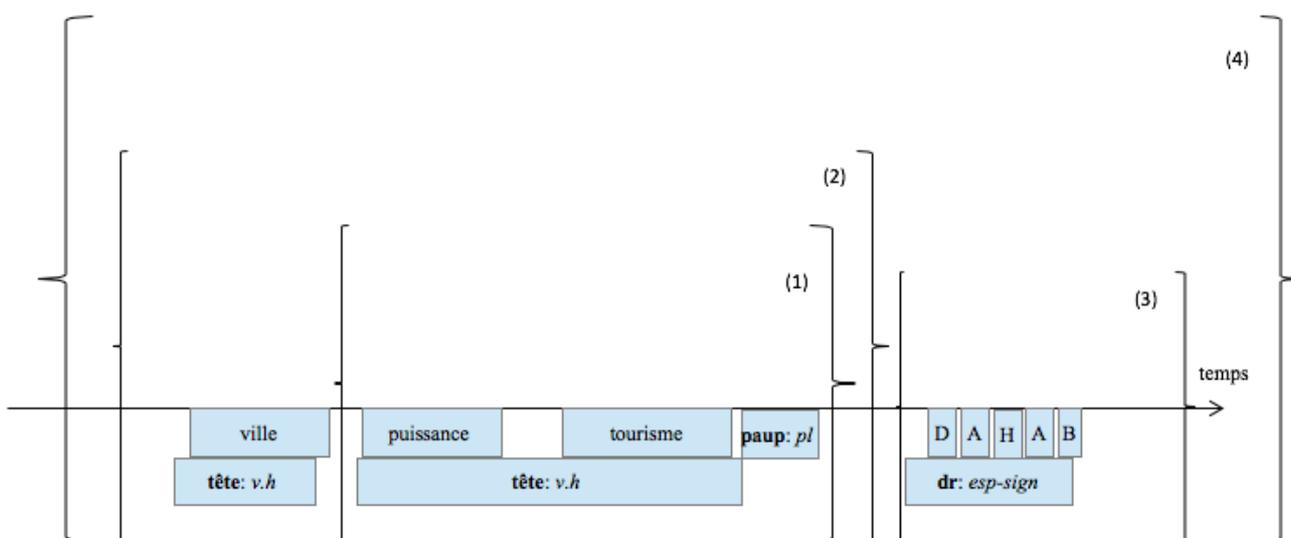


Figure 6.1: Forme de la structure " la ville touristique Dahab " en LSF

¹⁶ <https://tals.limsi.fr>



Figure 6.2 : Articulation manuelle de la structure “ la ville dont la puissance touristique est Dahab” en LSF

1. La partie de l'accolade 1 correspond à la forme générée par la règle **info-focus** (J.1.3.1). Le deuxième argument “tourisme” est un focus sur le premier argument “puissance”.
2. La partie de l'accolade 2 correspond à la forme générée par la règle **info-supp**. Elle prend comme premier argument “ville”, le second étant une information supplémentaire “puissance tourisme” (accolade 1).
3. La partie de l'accolade 3 correspond à la forme générée par la règle **épellation** (J.4). Elle prend comme argument une succession de lettres.
4. La partie de l'accolade 4 correspond à la forme générée par la règle **cat**. Elle prend comme premier argument la règle **info-supp** (accolade 2), et le second donne la catégorie du premier argument, son nom “Dahab” (accolade 3).

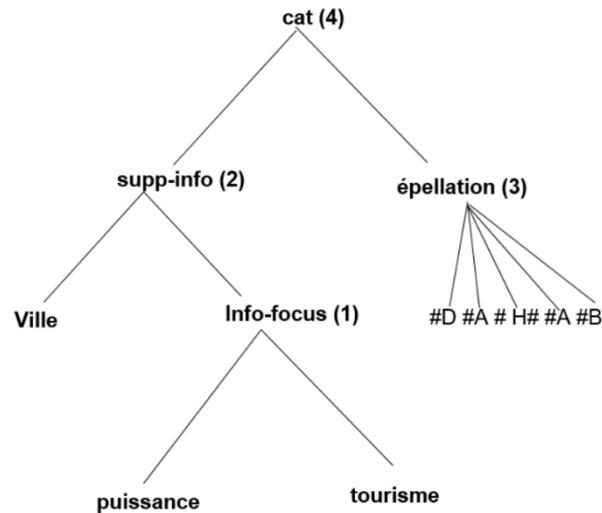


Figure 6.3: Arbre fonctionnel “ la ville touristique Dahab ” en LSF

En appliquant le même principe sur une brève journalistique complète, nous avons identifié l’ensemble des combinaisons de formes et les avons associées à leurs fonctions appropriées. L’arbre fonctionnel (figure 6.4) est la production AZee de la brève “*Quelque 200 personnes pourraient avoir été tuées mercredi matin par un glissement de terrain provoqué par des pluies abondantes dans l’île indonésienne de Java, a annoncé à une source policière.*”. Pour une présentation plus compacte, nous optons pour un format indenté, où l’espace à la marge correspond à la profondeur dans une représentation arborescente. Les points rouges (texte entre crochets) correspondent aux nœuds qui n’ont pas été détaillés davantage. Il convient également de noter que nous avons utilisé des regroupements sémantiques issus de la première itération de l’étude J tels que “Contexte” et “Localisation”. Ces groupes nécessitent une analyse plus approfondie et peuvent donner lieu à d’autres règles plus précises.

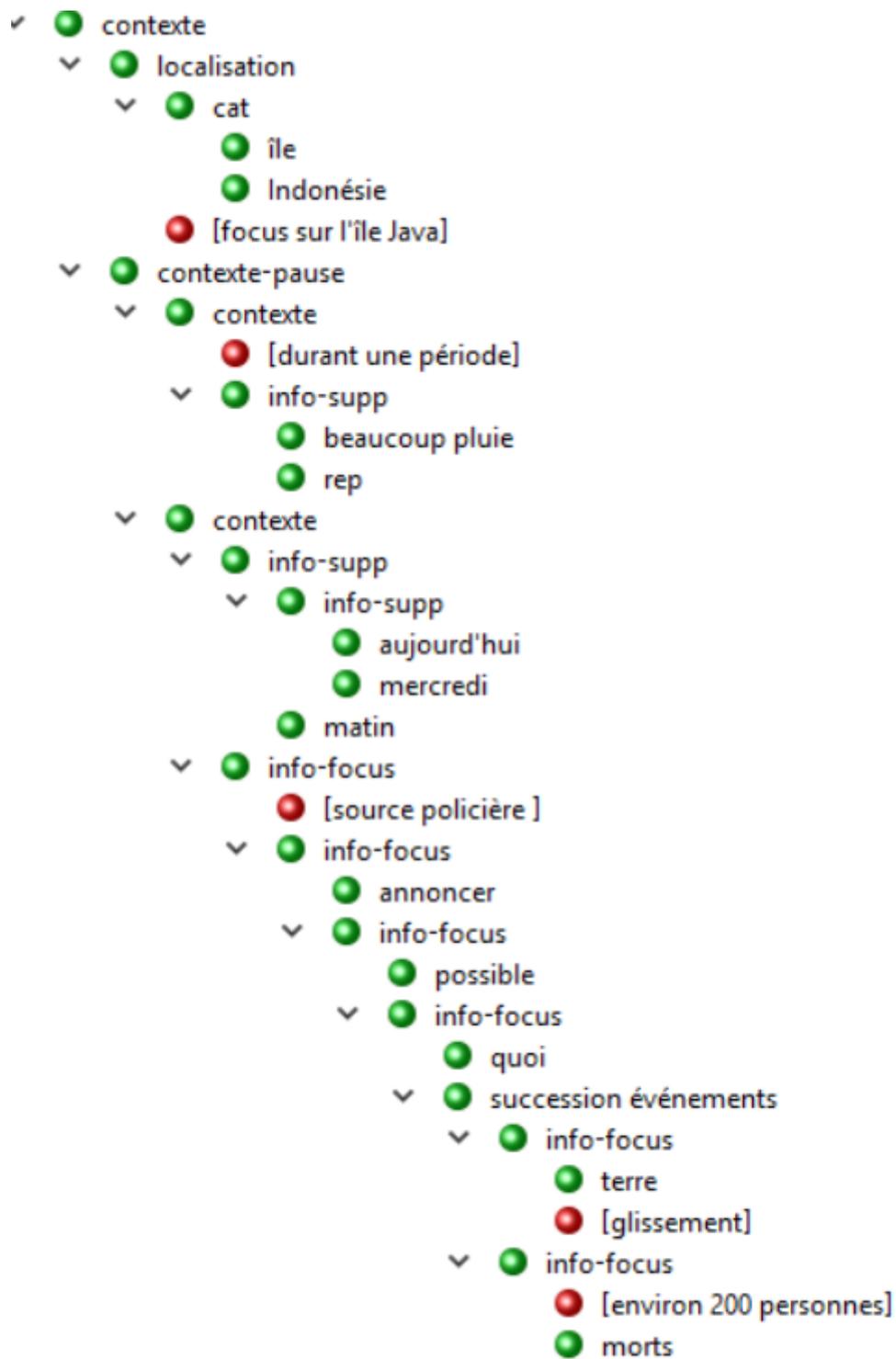


Figure 6.4: Arbre fonctionnel d'une brève complète

À partir de ces exemples, nous observons que les règles de production fonctionnent comme un système permettant de produire des structures complètes à partir d'imbrications de plusieurs niveaux, tout en respectant la forme des règles et leurs fonctions appropriées. On passe désormais d'un lien forme-fonction local qui caractérise une seule règle au même lien global impliquant plusieurs règles AZee.

6.1.2 La couverture des règles

Avant la réalisation des études présentées dans le chapitre 5, nous nous interrogeons sur le nombre de règles nécessaires pour couvrir une brève complète. Étant donné la précision sémantique qui peut caractériser le lien entre les items dans une structure, leur modélisation à partir d'un lien de fonction à forme aurait pu nécessiter des centaines de règles de production.

Dans notre description des 14 brèves journalistiques, en utilisant uniquement une dizaine de règles de production, nous avons réussi à décrire la majorité des liens de juxtaposition observés dans ces brèves. Sur 321 juxtapositions, seuls 21 restent inexplicables, malgré des formes identiques dont les fonctions sémantiques demeurent *ad hoc* (exemple : des pauses longues avec un croisement des mains).

Bien que certaines règles utilisées nécessitent un certain raffinement et que d'autres restent à définir à partir d'autres corpus ou itérations, nous pensons que le nombre de règles permettant de couvrir une bonne partie des structures a diminué. Cette caractéristique est importante, dans la mesure où elle permet de générer un nombre infini de structures à partir d'un nombre fini de règles.

6.1.3 Une représentation sémantique plutôt qu'un ordre dérivationnel

Les grammaires syntagmatiques reposent sur un processus de dérivation afin de décrire la constitution d'une structure. Ainsi, la structure profonde est liée à des contraintes formelles plutôt qu'à une représentation de la structure. À l'image des grammaires génératives, si les

règles de production AZee sont récursives, leurs imbrications mettent en jeu des fonctions sémantiques. L'organisation globale d'une structure ne dépend pas d'aspects formels. Elle permet de passer d'une représentation sémantique à son articulation en faisant abstraction des niveaux linguistiques classiques (Filhol et Falquet, 2017).

Si nous observons l'imbrication d'un arbre AZee (figure 6.4), nous constatons que les nœuds représentent l'imbrication de l'ensemble des fonctions sémantiques qui constituent une structure. Ainsi, contrairement à la structure profonde d'un arbre syntagmatique qui produit uniquement l'ordre dérivational pour obtenir une structure de surface, un arbre AZee permet d'identifier le contenu sémantique d'une structure sans avoir directement accès à la forme.

6.2 Vers une grammaire AZee

Maintenant que nous venons d'observer que les règles AZee pouvaient fonctionner comme un système, il est intéressant d'étudier les imbrications possibles, à partir desquelles nous pourrions développer une grammaire pour évaluer l'acceptabilité d'une imbrication en LSF. Afin d'effectuer ce travail uniquement sur des règles dont l'utilisation nécessite une imbrication, nous en proposons, dans la section 6.2.1, une catégorisation ainsi qu'une discussion sur quelques règles AZee à l'instar des modèles linguistiques classiques. Nous présentons ensuite (section 6.2.2) une approche pour décrire le fonctionnement de ces règles en tant que grammaire sans passer par un ordre dérivational.

6.2.1 Catégorisation des règles

En observant les règles de production identifiées, nous distinguons deux catégories : l'une qui nécessite une imbrication avec d'autres règles pour engendrer un langage (règles non terminales), et l'autre catégorie qui ne dépend de rien (règles terminales).

6.2.1.1 Utilisation terminale des règles

Les règles terminales, souvent regroupées dans les études linguistiques sous le nom de lexique, ont toujours suscité des débats dans la linguistique des LS. Comme présenté dans le chapitre 2, quelques caractéristiques des langues visuo-gestuelles rendent assez problématique le rapprochement entre les unités signées et le signe linguistique tel qu'il est conçu en linguistique générale. Étant donné que les règles de production que nous avons définies sont représentées formellement à partir du langage AZee, nous pouvons nous appuyer sur un critère formel pour définir l'ensemble des règles terminales. Ainsi, les règles AZee ne pouvant recevoir aucun argument pourraient convenir pour une telle catégorie portant sur des unités signées comme la règle PÈRE (figure 6.5). Néanmoins, nous observons une autre partie des règles qui dépendent, de manière optionnelle, d'un argument. La règle IMMEUBLE (figure 6.6), signée en dehors de tout contexte, n'utilise aucun argument. Cependant, la même règle dans un contexte donné peut recevoir un argument pour désigner son emplacement dans l'espace de signation. Ainsi, étant donné que ce type d'utilisation nécessite une imbrication avec d'autres règles, il sera pris en compte dans notre projet d'identification des combinaisons possibles en LSF.



Figure 6.5: Forme de la règle PÈRE



Figure 6.6: Forme de la règle IMMEUBLE dans un contexte donné

6.2.1.2 Utilisation non terminale des règles

Les règles non terminales AZee correspondent à l'ensemble des règles de production qui nécessitent une imbrication pour générer un énoncé. Contrairement aux éléments non terminaux dans les modèles syntagmatiques ayant pour unique fonction l'établissement d'un ordre linéaire des unités selon leur catégorie morphosyntaxique, les règles non terminales AZee remplissent des fonctions linguistiques plus variées qui dépassent, pour certaines, le niveau syntaxique tel qu'il est conçu dans les modèles classiques.

Comme nous l'avons montré dans la section 2.3.2, le statut linguistique d'une partie des unités signées en LS reste relativement imprécis. Ces unités, nommées différemment selon les diverses descriptions linguistiques (la deuxième colonne du tableau 6.1), représentent souvent des formes conventionnelles qui ne renvoient pas directement à un concept. Il s'agit typiquement d'unités comme le pointage, les formes désignant une partie de l'espace pour placer ou faire référence à une unité signée, ou encore les locatifs, proformes faisant référence à une unité déjà signée. Ces unités, considérées par la plupart des linguistes comme étant liées à la problématique du lexique, apparaissent dans nos descriptions comme des règles non terminales. La réalisation d'un pointage, par exemple, dépend nécessairement d'un argument de type point pour désigner sa cible dans l'espace de signation (Annexe 4).

Tableau 6.1: Classification des unités signées (Johnston et Schembri, 2010)

Fully-lexical signs	Partly-lexical signs	Example citations
regular signs	classifiers	Frishberg 1975
regular signs	classifier predicates	Liddell 1977
frozen signs	productive signs	Supalla 1978
fully specified signs	partially specified signs	Johnson & Lidell 1986
lexical signs	non-lexical signs	Johnston & Schembri 1999
Standard signs	highly iconic structures	Cuxac 2000
Monomorphemic signs	polycomponential signs	Engberg-Pedersen 1993 Schembri 2001, 2003
plain verbs	indicating verbs	Liddell 2003
fully specified signs	depicting signs	Liddell 2003

Aussi, nous observons une autre partie des règles AZee non terminales qui se différencie des règles de réécriture observées dans les grammaires syntagmatiques. Si l'on prend comme exemple la règle AZee permettant de mettre un jugement objectif sur une unité ou une structure (Filhol et McDonald, 2017) (figure 6.7), on la considère comme étant au même niveau que celles nécessitant plusieurs arguments comme **info-supp** ou **cat**, dans la mesure où elle nécessite obligatoirement un argument.

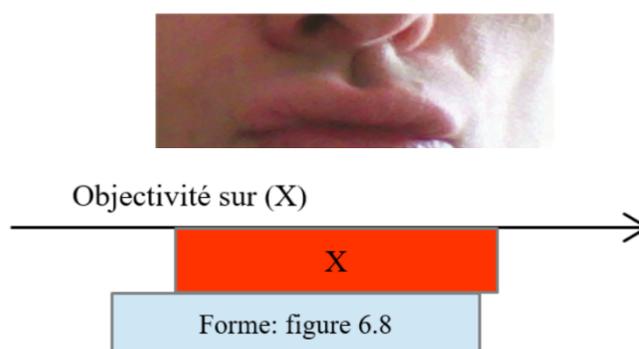


Figure 6.7: Règle « objectivité »

Dans notre perspective d'identification des différentes contraintes qui caractérisent les imbrications entre les règles, nous nous limitons uniquement à celles dont l'utilisation est non terminale. Cela inclut l'ensemble des règles présentées dans cette section mais aussi quelques-unes dont l'usage, dans certains contextes, peut être non terminal comme c'est le cas de la règle IMMEUBLE.

6.2.2 Des contraintes plutôt que des règles de réécriture

La majorité des grammaires, notamment syntagmatiques, définissent l'organisation d'une structure à partir des règles qui suivent un processus de dérivation préalablement défini. Ainsi, toute structure dérivable à partir d'un ensemble de règles de réécriture d'un modèle est dite grammaticale (cf. Section 3.4.1). En d'autres termes, les structures qui ne respectent que partiellement le processus de dérivation sont systématiquement rejetées.

Dans la perspective de développer une grammaire formelle pour la LSF, les imbrications acceptables de règles AZee sont décrites à partir d'un modèle moins contraignant que les grammaires dérivationnelles. Dans ce sens, les théories linguistiques qui reposent entièrement sur des contraintes pour présenter les automatismes entre les règles nous paraissent les plus adéquates pour décrire le fonctionnement des règles AZee en tant que grammaire. Nous présentons, dans les sous-sections suivantes, une grammaire à base de contraintes, la grammaire de propriétés (Blache, 2000, 2001), ainsi qu'une perspective de son application sur le fonctionnement des règles AZee.

6.2.2.1 Les grammaires de propriétés

La grammaire de propriétés (GP) est une approche qui s'appuie entièrement sur des contraintes, également nommées propriétés. L'objectif des GP est d'assouplir le jugement d'acceptabilité d'une structure. Contrairement aux modèles syntagmatiques où l'ensemble

du processus de dérivation doit être satisfait pour obtenir une structure de surface, une approche à base de propriétés permet de décrire une structure sans qu'elle valide l'ensemble des contraintes. Les différentes propriétés (au nombre de 7) sont présentées ci-dessous :

Dépendance (\rightsquigarrow) : souligne une relation de dépendance entre deux catégories.

Exemple : Det \rightarrow SN

Dans un syntagme, un déterminant (Det) dépend du syntagme nominal (SN)

Linéarité (\leftarrow) : la description de l'ordre linéaire d'un syntagme X

Exemple : {Det} SN {SA}

Dans le SN, le Det doit précéder le syntagme adjectival (SA)

Constituants (const) : l'ensemble des catégories qui pourraient composer un syntagme X

Exemple des constituants d'un syntagme nominal : const (SN) = {Det, Card (cardinal), SA, Sup (superlatif), N(nom)}

Unicité (unic) : met en avant les catégories qui ne peuvent figurer qu'une seule fois dans la description d'un syntagme.

Exemple : unic (SN) = {Det, Card}

Le SN ne peut porter qu'un seul Det et un seul cardinal (Card)

Noyaux(noyaux) : détermine la partie noyau d'un syntagme X

Exemple : noyaux (SN) = {N, SA}

Le noyau d'un syntagme nominal est soit une catégorie N soit un SA

Exigence (\Rightarrow) : détermine l'obligation de cooccurrences entre les symboles pouvant avoir lieu dans un syntagme

Exemple : {le être [N;P]} S V) {Clit[ref IN;P]}

Si on doit avoir l'ensemble : pronom "le" + verbe "être" fléchi, on doit aussi avoir un clitique lié au verbe être, exemple : je me le suis dit.

Exclusion (\nrightarrow) : détermine l'impossibilité de cooccurrences entre les symboles dans un syntagme.

Exemple : {Card} SN, {[Def -]}

L'impossibilité de cooccurrences entre un déterminant indéfini et un cardinal dans un syntagme.

À partir de cet ensemble de propriétés, il est possible de décrire les différentes contraintes susceptibles de caractériser les catégories d'une langue. Le tableau 6.2 représente l'ensemble des contraintes spécifiant une phrase (P) en français écrit.

Tableau 6.2: Description d'une phrase à partir des grammaires de propriétés (Blache, 2001)

Syntagme	Type de propriété	Propriété		
P	Constituants	const = {SN, SV, Cliv}		
	Noyaux	noyaux = {SV}		
	Unicité	unic = {SV, SN, Cliv}		
	Exclusion	SV[imp] \nrightarrow SN		
	Linéarité		SN \prec SV	
			Cliv \prec SN	
			Cliv \prec SV	
		Dépendance		SN \rightsquigarrow SV
				Cliv \rightsquigarrow SV

Les GP permettent de contraindre la connexion de deux syntagmes par le biais d'une contrainte nommée "propriété dynamique (pd)". Afin de formuler une règle d'accord entre un SN et un verbe, la propriété dynamique ci-dessous indique que la propriété noyau contient un verbe (V) qui doit s'accorder en genre et en nombre avec le syntagme nominal (SN)

(pd) SN[GN] \Rightarrow (SV, noyaux(V [GN]))

6.2.2.2 Perspective d'une grammaire AZee à base de contraintes

À l'image de la solution algorithmique proposée par Prost (2009) en vue de présenter des énoncés agrammaticaux en français, après que l'ensemble des règles de production AZee

permettra de décrire la totalité des structures observées dans les corpus LSF, il serait intéressant de déterminer automatiquement, à partir d'une approche d'apprentissage statistique, les occurrences d'imbrication de règles et de les décrire sous forme de contraintes. Quoique la définition des combinaisons acceptables dans une langue doive reposer sur des observations d'un nombre important de descriptions, nous avons trouvé intéressant de citer quelques exemples d'imbrications récurrentes à partir de la description des 14 brèves journalistiques.

Une règle de production ne peut avoir pour argument qu'une partie des règles. Si l'on prend l'exemple de la règle **localisation** (localisation d'un lieu par rapport à un autre), à partir des descriptions que nous avons jusqu'ici, cette règle est uniquement constituée des trois règles de production : **info-supp**, **cat** et **info-focus**, ce qui soulève une contrainte de constitution.

$$\text{const}(\text{loc}) = \{\text{info-sup}, \text{cat}, \text{info-focus}\}$$

En outre, dans une règle de production comme **contexte** (composé d'un contexte et de la partie sur laquelle il porte), la règle **séq** (une succession d'événements) ne peut apparaître qu'une seule fois. Cela soulève une règle d'unicité.

$$\text{unic}(\text{Contexte}) = \{\text{séq}\}$$

Il convient également de noter qu'il est possible de repérer, à partir d'un processus d'apprentissage statistique, d'autres propriétés qui caractérisent des règles AZee non répertoriées dans les grammaires de propriétés qui seraient liées à la modalité signée. Dans ce sens, une contrainte pour évaluer l'apparition d'une règle à un niveau précis d'une imbrication peut être relevée. Par exemple, dans la partie du corpus décrit, la règle **info-supp** ne figure jamais à la racine d'un arbre fonctionnel AZee. De la même manière, des règles comme **séq** n'apparaissent non plus jamais au bas d'un arbre AZee.

6.3 Bilan

L'objectif de ce chapitre était de présenter des règles de production en tant que système pouvant faire l'objet d'un développement d'une grammaire formelle pour la LSF. Nous avons exposé, dans un premier temps, en nous appuyant sur la description d'une partie du corpus des 40 brèves, le fonctionnement des règles comme un ensemble permettant de décrire des structures complètes. La deuxième partie a développé une perspective pour définir, à partir des imbrications des règles observées dans les corpus, une grammaire formelle qui ne s'appuie pas sur un processus de dérivation.

Conclusion et perspectives

Les premiers travaux portant sur la description linguistique des LS se sont fortement inspirés de modèles qui avaient été initialement élaborés pour décrire les langues vocales. Ainsi, la différence de modalité était considérée comme un paramètre mineur qui n'avait pas d'impact sur la structure cognitive du langage humain. Ce rapprochement a sans doute facilité la reconnaissance linguistique des LS comme des langues à part entière et a ensuite participé à leur reconnaissance légale.

À partir des années 90, de nouvelles approches ont mis l'accent sur plusieurs spécificités propres aux LS, telles que l'iconicité, la multilinéarité et l'utilisation de l'espace de signation. C'est ainsi qu'a été repensée une nouvelle organisation linguistique pour les LS et que des principes linguistiques, estimés jusqu'ici communs à l'ensemble des langues, ont été remis en question.

Les chercheurs en traitement automatique des langues doivent alors modéliser des LS sans se fonder sur une description linguistique stable, avec des caractéristiques qui n'adhéraient pas à des contraintes formelles sur lesquelles reposent pourtant la plupart des théories linguistiques.

Dans le cadre de notre projet de modélisation de la LSF, nous nous appuyons sur une approche qui dépasse les exigences des modèles formels initialement développés pour décrire le fonctionnement des langues vocales. Nous proposons une démarche, dotée d'une certaine souplesse, permettant d'inclure l'ensemble des spécificités propres à la modalité visuo-gestuelle, tout en respectant les principes d'un processus de formalisation.

En nous basant sur des études de corpus, notre approche consiste à identifier un groupe de formes associé à la même fonction sémantique, pouvant relever, dans les modèles linguistiques classiques, de plusieurs niveaux. Une fois cette association établie, elle est formalisée à travers une règle de production en utilisant le formalisme AZee. Dans notre

approche, aucune propriété linguistique n'est supposée *a priori*, toute règle de production doit être justifiée par une relation de fonction à forme, mais elle peut être paramétrée par des éléments contextuels.

À partir de cette approche, nous avons, dans un premier temps, identifié des règles de production portant sur l'expression de la durée et quelques types de localisation en LSF. Nous avons ensuite étudié les liens de juxtaposition entre les unités signées à partir d'un lien de fonction à forme, sans aucune supposition de construction. Nous avons conclu notre travail par une présentation du fonctionnement des règles identifiées comme un système permettant de décrire un énoncé complet.

L'objectif principal de cette thèse est de proposer une approche permettant de prendre en compte les caractéristiques spécifiques aux LS tout en assurant une formalisation des résultats obtenus. La performance de notre projet de génération de la LSF doit passer par la réalisation d'autres études qui s'inscrivent dans diverses disciplines scientifiques. Nous présentons ainsi les travaux que nous trouvons intéressants d'entreprendre ultérieurement, correspondant aux points suivants :

- Afin d'évaluer les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse, nous optons pour une étude de perception. Notre but est de proposer à un public sourds deux parties d'animation d'un signeur virtuel : l'une qui représente des structures animées à partir des règles de production identifiées, l'autre qui ne respecte pas des contraintes des règles de production définies. Un tel travail nous permettra de mieux évaluer notre démarche ainsi que les résultats obtenus.
- Développer un système de règles susceptible de générer des énoncés en LSF nécessite la couverture de l'ensemble des structures observées en LSF. Les règles de production présentées dans le cadre de cette thèse ont été définies à partir de deux corpus avec un registre de langue bien particulier, à savoir le style journalistique. Ainsi, il nous semble

essentiel d'identifier d'autres règles de production qui peuvent se fonder sur d'autres corpus de natures diverses.

- Comme souligné dans la section 6.2.2.2, une fois que nous aurons décrit un ensemble important de structures à partir d'imbrications de règles de production, il sera intéressant d'identifier différentes combinaisons de règles possibles. Ainsi, nous proposons de déterminer, à partir d'une étude d'apprentissage automatique, un ensemble de contraintes qui régissent le fonctionnement des règles en tant que système. L'aboutissement d'un tel travail nous permettra de proposer une grammaire formelle sans qu'elle soit liée aux exigences formelles des grammaires classiques.
- Certains aspects de forme tels que les articulations non-manuelles, la synchronisation entre les divers articulateurs et la vitesse des différents mouvements sont difficilement annotables à partir des données vidéo et à l'œil nu. Ces imprécisions au niveau de la description de la forme influencent ensuite la qualité de la génération de la LSF par un signeur virtuel et sa reconnaissance par le public sourd comme une langue naturelle. Dans cette perspective, concernant nos futurs travaux, d'autres types de données, notamment les corpus en capture de mouvement (mocap), peuvent nous servir de base en vue de définir des règles de production plus précises au niveau de la forme. Les recherches effectuées par Benchiheb (2017) à partir des données mcoap (MOCAP 1) afin de distinguer la nature du mouvement manuel dans les unités signées et durant les transitions, constituent une ouverture sur laquelle nous nous basons pour étudier d'autres caractéristiques de forme non identifiables dans les corpus vidéo.

Bibliographie

Baker, C. (1976). *What's not on the other hand in American Sign Language*. In Mufwene, S ; Walker, C A & Stever, S B. (eds), Proceedings of the Twelfth Regional Meeting of the Chicago Linguistic Society, Chicago : The University of Chicago Press

Baker, S. (2002). *The perception of handshape in American Sign Language*. Thèse de Doctorat, University of Delaware.

Balvet, A ; Courtin, C ; Boutet, D ; Cuxac, C ; Fusellier-Souza, I ; Garcia, B ; L'Huillier, M-T & Sallandre M-A. (2010). *The Creagest Project: a Digitized and Annotated Corpus for French Sign Language (LSF) and Natural Gestural Languages*. Proceedings of the Seventh conference on International Language Resources and Evaluation. LREC, 2010, Malte.

Bar-Hillel, Y. (1953a). *Machine translation*. Computers and Automation 2 (5).1-6

Bar-Hillel, Y. (1953b). *Some linguistic problems connected with machine translation*. Philosophy of Science 20.217-225.

Battison, R. (1974). *Phonological Deletion in American Sign Language*. SLS, 5, 1–19

Battison, R ; Markowicz, H & Woodward, J. (1975). *A good rule of thumb: variable phonology in American Sign Language*. In Shuy,R. & Fasold, R. (eds), New ways of analyzing variation in English II, Washington, D.C. : Georgetown University Press.

Bauer, B ; Nießen, S & Hermann, H. (1999). *Towards an Automatic Sign Language Translation System*. In Proceedings of the International Workshop on Physicality and Tangibility in Interaction: Towards New Paradigms for Interaction Beyond the Desktop, Siena, Italy.

Bébian, A. (1817). *Essai sur les sourds-muets et sur le langage naturel, ou introduction à une classification naturelle des idées avec leur signe propre*. Paris : J.G. Dentu.

Benchiheub, M A. (2017). Contribution à l'analyse des mouvements 3D de la Langue des Signes Française (LSF) en Action et en Perception. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud.

Bernard, Y. (1999). *Approche de la gestualité à l'Institution des Sourds-Muets de Paris aux XVIIIe et XIXe siècles*. (Thèse de doctorat de Linguistique non publiée). Université Paris V, Paris.

- Berthier, F. (1852). *L'Abbé de l'Épée, sa vie, son apostolat, ses travaux, sa lutte et ses succès*. Paris : Michel Lévy Frère.
- Bird, S. & Klein, E. (1994). *Phonological Analysis in Typed Feature Systems*, in *Computational Linguistics*, 20:3.
- Blache, P. (2000). *Constraints, Linguistic Theories and Natural Language Processing*. in *Natural Language Processing*, D. Christodoulakis (ed.), *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer.
- Blache, P. (2001). *Les grammaires de propriétés: des contraintes pour le traitement automatique des langues naturelles*. Hermès science publications.
- Bonucci, A. (1998). *Analyse phonologique et indexation figurative pour une base de données d'entrées lexicales de la Langue des Signes Française*. Thèse de Doctorat, Université Lumière Lyon II.
- Bouchard, D ; Dubuisson, C ; Lelièvre, L. & Poulin, C. (1999). *L'ordre en langue des signes québécoise (LSQ)*. Présentation présentée au congrès de l'Association Canadienne de Linguistique, Sherbrooke.
- Bouchard, D ; Dubuisson, C & Parisot, A-M. (2005). *Categories in Langue des signes québécoise: Reflexions on categorization across modalities*. *Categorization in cognitive sciences*, Cohen, H et Lefebvre, C (éd.). New York: Elsevier.
- Boutora, L. (2008). *Fondements historiques et implications théoriques d'une phonologie des langues des signes. Etude de la perception catégorielle des configurations manuelles en LSF et réflexion sur la transcription des langues des signes*. Thèse de Doctorat en Sciences du Langage, Université Paris 8
- Bouvet, D. (1992). *Classification articulatoire des configurations de la main dans la Langue des Signes Française : Portée heuristique de cette classification pour la recherche des unités distinctives*. *Protée*, 20(2-3), 23–32 ; 87–99.
- Braffort, A. (1996). *Reconnaissance et compréhension de gestes, application à la langue des signes*. Thèse de Doctorat, Université Paris 11 Orsay.
- Braffort, A ; Filhol, M ; Delorme, M; Bolot, L ; Choisier, A & Verrecchia, C. (2013). *KAZOO: A Sign Language Generation Platform Based on Production Rules*, *International workshop on Sign Language translation and avatar technology (SLTAT)*, Chicago, USA.
- Brentati, D. (1998). *A prosodic model of sign language phonology*. Cambridge, MA : MIT Press.

- Brentari, D ; Hulst, V ; Kooij, H & Sandler, W. (1996). *One over all and all over one : A model for the phonological representation of handshape*. In Paper presented at the Topics in Sign Language Research, Washington, D.C.
- Brown, P ; Cocke, J ; Pietra, S D ; Pietra, V J D ; Jelinek, F ;Lafferty, J D ; Mercer, R L & Roossin, P S. (1990). *A statistical approach to machine translation*. Computational Linguistics, 16(2):79–85.
- Brugaille, J L ; Dalle, J & Kellerhals, M P. (2006). *Une expérience d'utilisation de forme graphique dans la scolarité des enfants sourds : méthodes de travail et premières observations*. Syntaxe, interprétation, lexique des langues signées. Lille.
- Catteau, F ; Blondel, M ; Vincent, C ; Guyot, P & Boutet, D. (2016). *Variation prosodique et traduction poétique (LSF/français) : Que devient la prosodie lorsqu' elle change de canal ?* TALN 2016. Paris.
- Channon, R E. (2002). *Signs are single segments: Phonological representations and temporal sequencing in ASL and other sign languages*. Thèse de Doctorat, University of Maryland, College Park.
- Chételat-Pelé, E. (2010). *Les Gestes Non Manuels en langue des signes française ; Annotation, analyse et formalisation : Application aux mouvements des sourcils et aux clignements des yeux*. Thèse de Doctorat, Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Chomsky, N. (1995). *The Minimalist Program*. Cambridge: The MIT Press.
- Corina, D. (1993). *To branch or not to branch: Underspecification in ASL handshape contours*. In COULTER G. (ed.), *Phonetics and Phonology: Current issues in ASL Phonology*, volume 3, pp. 63–95, San Diego: Academic Press.
- Cuxac, C. (1983). *Le Langage des Sourds*. Paris : Payot.
- Cuxac, C. (2000). *La Langue des Signes Française (LSF) : Les voies de l'iconicité*. *Faits de Langue*, 15-16. Ophrys.
- Cuxac, C. (2002). *Langage et cognition, rapport de fin de recherche du projet LS-colin*.
- DE Langhe, O ; GUITTENY, P ; Portine, H & RETORÉ, C. (2003). *A propos des structures OSV en Langue des Signes Française*. In A.-M. BERTHONNEAU & G. DAL, Eds., *Journées d'études internationales – La linguistique de la LSF : recherches actuelles*: SILEX-C.N.R.S.
- Descles, J-P. (1990). *Langages applicatifs, langues naturelles et cognition*. Paris : Hermes.

Dreuw, P ; Forster, J ; Gweth, Y ; Stein, D ; Ney, H ; Martinez, G ; Verges Llahi, J ; Crasborn, O ; Ormel, E ; Du, W ; Hoyoux, T ; Piater, J ; Moya Lazaro, J & Wheatley, M. (2010). *SignSpeak - Understanding, recognition, and translation of sign languages*. In Proceedings of 4th workshop on the representation and processing of sign languages: Corpora and sign language technologies (CSLT 2010) (pp 65–73). Valletta, Malta.

Efthimiou, E ; Fotinea, S-E ; Hanke, T ; Glauert, J ; Bowden, R ; Braffort, A ; Collet, C ; Maragos, P and Goudenove F. (2010). *DICTA-SIGN: sign language recognition, generation and modelling with application in deaf communication*. International workshop on the Representation and Processing of Sign Languages: Corpora and Sign Language Technologies (LREC), Valleta, Malte.

Filhol, M. (2008). *Modèle descriptif des signes pour un traitement automatique des langues des signes*. Thèse de Doctorat, Université Paris 11 Orsay.

Filhol, M & Braffort, A. (2012). *Méthodologie d'exploration de corpus et de formalisation de règles grammaticales pour les langues des signes*, conférence sur le traitement automatique des langues naturelles (TALN), Grenoble, France.

Filhol, F & Braffort, A (2016), *Modélisation linguistique*, in "La langue des signes française (LSF) : modélisations, ressources et applications", dir. A. Braffort, ISTE éditions.

Filhol, M & Falquet, G. (2017). *Synthesising Sign Language from semantics, approaching "from the target and back*. arXiv:1707.08041

Filhol, M ; McDonald, J & Wolfe, R. (2017). *Synthesizing Sign Language by Connecting Linguistically Structured Descriptions to a Multi-track Animation System*. In Universal Access in Human-Computer Interaction. Designing Novel Interactions, dir. M. Antona and C. Stephanidis (Eds.): UAHCI 2017, Part II, LNCS 10278

Filhol, M ; Hadjadj, M N & Testu, B. (2013). *A rule triggering system for automatic text-to-Sign translation*, International workshop on Sign Language translation and avatar technology (SLTAT), Chicago, USA.

Filhol, M ; Hadjadj, M N & Choisier, A. (2014). *Non-manual features: the right to indifference*, Representation and Processing of Sign Languages: Beyond the manual channel, Language resource and evaluation conference (LREC), Iceland.

Filhol, M & Tannier, X. (2014). *Construction of a French-LSF corpus*. Building and Using Comparable Corpora, Language resource and evaluation conference (LREC), Iceland.

Fischer, S. (1975). *Influences on word order change in American Sign Language*. In: Charles Li (ed.) Word order and word order change 1–25. Austin: University of Texas Press

Friedman, L. (1977). *On the other hand. New perspectives on American Sign Language*. NY, London : Academic Press.

Fusselier-Souza, I & Leix, J. (2005). *L'expression de la temporalité en Langue des Signes Française (LSF)*. Actes du colloque Conceptualisation et Surdité, dans La nouvelle revue AIS. Editions du CNEFEI, Suresnes, pp. 207-230

Garcia, B ; Sallandre, M-A ; Schoder, C. & L'Huillier –T. (2011). *Typologie des pointages en Langue des Signes Française (LSF) et problématiques de leur annotation*. Actes du premier Défi Geste Langues des Signes (DEGELS 2011), dans le cadre de la Conférence TALN 2011 Montpellier, 1er juillet 2011, 107-119.

Gazdar, G ; Klein, E ; Pullum, G. K. & Sag, I. A. (1985). *Generalized phrase structure grammar*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Hanke, T. (2004). *Towards sign language resources extending an hpsg lexicon for german sign language from empirical data*. In Actes de LREC 2002, Las Palmas.

Hanke, T. (2010). *An overview of the HamNoSys phonetic transcription system*. Retrieved December 28, 2011, from Sign Linguistics Corpora

Hanke, T & Storz, J. (2008). *iLex : A Database Tool for Integrating Sign Language Corpus Linguistics and Sign Language Lexicography*. 3rd Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages, LREC 2008.

Hinton, G ; Deng, L ; Yu, D ;Dahl, G ; Mohamed, A ;Jaitly, N ; Senior, A ;Vanhoucke ,V ;Nguyen ,P ; Sainath, T & Kingsbury, B. (2012). *Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition*. IEEE Signal Processing Magazine, 29(6), 82–97.

Huenerfauth, M. (2006). *Generating American Sign Language Classifier Predicates for English-to-ASL Machine Translation*. PhD thesis, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA.

Hulst (Van Der), H. (1993). *Units in the analysis of signs*. Phonology, 10, 209– 241.

Hulst (Van Der), V. (1995). *The composition of handshapes*. In *Working papers in linguistics 23*. Dragvoll : Department of Linguistics, University of Trondheim

Hulst (Van Der), H. & Kooij (Van Der), E. (2006). *Phonetic implementation and phonetic pre-specification in sign language phonology*. In GOLDSTEIN L.,WHALEN D. & BEST C. (eds), *Laboratory Phonology 8*, pp. 265–286, Berlin : Mouton de Gruyter.

Johnston, T. (2001). *Nouns and Verbs in Australian Sign Language: An Open and Shut Case?* Journal of Deaf Studies and Deaf Education 6(4): 235-257.

- Johnston, T. (2010). *From archive to corpus: Transcription and annotation in the creation of signed language corpora*. *International Journal of Corpus Linguistics* 15(1). 106–131.
- Johnston, T. (2014). *Auslan Corpus Annotation Guidelines*. Sydney: Macquarie University.
- Johnston, T & Schembri, A. (1999). *On defining lexeme in a signed language*. *Sign language and linguistics*, 2(2), 115-185.
- Johnston, T. & Schembri, A. (2007). *Australian Sign Language (Auslan). An Introduction to Sign Language Linguistics*. Cambridge University Press.
- Johnston, T & Schembri, A. (2010). *Variation, lexicalization and grammaticalization in signed languages*. *Langage et société* 131: 19-35.
- Joshi, A K ; Levy, L S & Takahashi, M. (1975). *Tree Adjunct Grammars*. *Journal of Computer and System Science* 10, 136–163
- Jouison, P. (1989). *Iconicité et double articulation dans la langue des signes*. *Etudes européennes en langue des signes*, pp. 75–107.
- Jouison, P. (1995). *Ecrits sur la langue des signes française*. L'Harmattan. Edité par B. Garcia
- Kamp, H & Reyle, U.(1993). *From Discourse to Logic. Introduction to Model theoretic Semantics of Natural Language, Formal Logic and Discourse Representation Theory*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kaplan, R M & Bresnan, J. (1982). *Lexical-Functional Grammar: A Formal System for Grammatical Representation*. In Bresnan 1982, 173–281. Reprinted in Dalrymple et al, (1995: 29– 135).
- Kayne, R. (1994). *The Antisymmetry of Syntax*. Cambridge: The MIT Press.
- Klima, E & Bellugi, U. (1979). *The Signs of Language*. Cambridge, Massachusetts, London, England : Harvard University Press.
- Kipp, M. (2004). *Gesture Generation by Imitation - From Human Behavior to Computer Character Animation*. Boca Raton Florida.
- Kooij (Van Der), E. (2002). *Phonological Categories in Sign Language of the Netherlands. The Role of Implementation and Iconicity*. Utrecht : LOT.
- Lakoff, G.(1987). *Women, Fire, and Dangerous Things*. Chicago: University of Chicago Press.

- Langacker, R W. (1987). *Foundations of Cognitive Grammar, 2 vols.* Stanford, CA: Stanford University Press.
- Laurent, J. (2011). *Platon*. Collection dirigée par Laurence Hansen-Løve Edition numérique : Pierre Hidalgo La Gaya Scienza.
- Lejeune, F. (2004). *Analyse sémantico-cognitive d'énoncés en langue des signes française pour une génération automatique de séquences gestuelles*, Thèse de doctorat, Université Paris 11 Orsay.
- Liddell, S K. (1984). *THINK and BELIEVE: sequentiality in American Sign Language*. *Language*, 60, 372–399.
- Liddell, S K. (2003). *Grammar, Gesture and Meaning in American Sign Language*. Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Liddell, S. & Johnson, R. (1989). *American sign language : the phonological base*. *Sign Language Studies*, 64, 195–277.
- López-Colino, F & Colas, J. (2012) *Spanish Sign Language synthesis system*. *Journal of visual languages and computing* 23 121-136.
- Marshall, I. & Sáfár, E. (2002). *Sign language generation using HPSG*. In Proceedings of the 9th International Conference on Theoretical and Methodological Issues in Machine Translation (TMI-02), Keihanna, Japan, pp. 105–114.
- Marshall, I. & Sáfár, E. (2003). *A prototype text to British Sign Language (BSL) translation system*. In 41st Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics, Sapporo, Japan, pp. 113–116.
- Meurant, L. (2003). *L'anaphore syntaxique redéfinie au regard d'une langue des signes étude contrastive de structures anaphoriques*. *La linguistique de la LSF : recherches actuelles French Sign Language Linguistics*.
- Meurant, L. (2008). *Le regard en langue des signes - Anaphore en langue des signes française de Belgique (LSFB) : morphologie, syntaxe, énonciation*. Presses Universitaires de Namur.
- Millet, A. (1997). *Réflexions sur le statut du mouvement dans les langues gestuelles : aspects lexicaux et syntaxiques*. *Lidil*, 15, 11–30. Grenoble : Lidilem.
- Millet, A. (1998). *Typologie des signes et structuration du lexique en LSF. Réflexions autour de la notion d'Unité Linguistique Intermédiaire*. In *Oralité et Gestualité. Communication multimodale, interaction*, pp. 95–100, Paris : L'Harmattan.

Millet, A. (2004). *La langue des signes française (LSF) : une langue iconique et spatiale méconnue*. Cahiers de l'APLIUT.

Moody, B. (1983). *La langue des signes*. Paris: Ellipses. O'Baoill, D ; Matthews, P-A. (2000). *The Irish Deaf Community (Volume 2): The Structure of Irish Sign Language*. The Linguistics Institute of Ireland, Dublin, Ireland.

Moody, B ; Hof, D & Dumartin, S. (1986, réédition 1997). *La Langue des Signes (tome II) — Dictionnaire bilingue élémentaire 1*. IVT, Paris.

Moody, B ; Hof, D & Dumartin, S. (1986, réédition 1997). *La Langue des Signes (tome III) — Dictionnaire bilingue élémentaire 1*. IVT, Paris.

Neidle, C ; Kegl, J ; MacLaughlin, D ; Bahan, B. & Lee, R G. (2000). *The syntax of American Sign Language: Functional categories and hierarchical structure*. Cambridge, MA: MIT Press.

O'Baoill, D. & Matthews, P.A. (2000). *The Irish Deaf Community, Volume 2 – The Linguistics of ISL*, ITE, Dublin, 2000.

Parent, R. (2012). *Computer animation: algorithms and techniques*. Newnes, Boston

Pizzuto, E & Corazza, S. (1996). *Noun morphology in Italian Sign Language (LIS)*. *Lingua* 98, 169--196.

Pollard, C & Sag, I A. (1987). *Information-Based Syntax and Semantics*. Vol. 1: Fundamentals, Stanford : CLSI Lecture Notes Series.

Pollard, C. & Sag, I A. (1994). *Head-Driven Phrase Structure Grammar*. Chicago: University of Chicago Press

Presneau, J R. (1989). *Le son à la lettre : l'éducation des sourds et muets avant l'abbé de l'Épée*. Dans *Le pouvoir des signes*. Paris : INJS.

Prillwitz, S ; Leven, R ; Ziener, H ; Hanke, T & Henning J.(1989). *HamNoSys Version 2.0, Hamburg Notation System for Sign Languages, an Introductory Guide*. Hamburg : Signum Press.

Prost, P. (2009). *Analyse relâchée à base de contraintes*. (TALN, 2009), Senlis.

Rabiner, L R. (1989). *A tutorial on Hidden Markov Models and selected applications in speech recognition*, in the proceedings of IEEE, 77(2):257-285, 1989

- Risler, A. (2000). *La langue des signes, langue iconique*. Thèse de Doctorat, Université Toulouse-le-Mirail.
- Saint-Loup, A. (1989). *Les sourds-muets au Moyen-Age: mille ans de signes oubliés*. Dans *Le pouvoir des signes*. Paris: I.N.J.S.
- Sandler, W. (1996). *Representing Handshapes*. *International Review of Sign Language Linguistics*, 1, 115–158.
- Sandler, W. (1989). *Phonological representation of the sign: linearity and nonlinearity in American Sign Language*. Dordrecht : Foris.
- Saussure, F. (1916). *Cours de Linguistique Générale*. Payot. publié par Ch. Bally et Albert Sechehaye.
- Schaumyan, S K. (1977). *Applicational Grammar as a semantic theory of natural language*. Chicago University Press, Chicago.
- Shieber, S. (1994). *Restricting the weak-generative capacity of synchronous tree-adjointing grammars*. *Computational Intelligence*, 10(4), 371–385.
- Sinte, A. (2015). *Le temps en langue des signes*. Presses universitaires de Namur.
- Sleator, D & Temperley, D. (1991). *Parsing English with a Link Grammar*. Carnegie Mellon University Computer Science technical report CMU-CS-91-196, 1991.
- Speers, d'A L. (2001). *Representation of American Sign Language for Machine Translation*. PhD Dissertation, Department of Linguistics, Georgetown University.
- Stokoe, W C. (1960). *Sign Language Structure. Studies in Linguistics. Occasional Papers n° 8*. Buffalo, NY : University of Buffalo Press.
- Stokoe, W C. (1991). *Semantic phonology*. *SLS*, 71, 107–114.
- Supalla, T & Newport, E. (1975). *In Search of Categorical Perception in Sign*. Manuscript non publié, reporté dans Newport (1982)
- Sutton, V. (1995). *Lessons in SignWriting : textbook and workbook. The Deaf Action Committee for SignWriting and the Center for Sutton Movement Writing. Inc. La Jolla, CA.*

- Tacchetti, M. (2017). *User Guide for ELAN Linguistic Annotator version 5.0.0*. The Language Archive, MPI for Psycholinguistics, Nijmegen, The Netherlands.
- Talmy, L. (2000). *Toward a cognitive semantics, vol. 2: Typology and process in concept structuring*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Tanaka, S & Hulst (Van der), H. (2004). *Speed of hand movement: a quantitative study*. Poster à TISLR 8, Barcelona.
- Tyrone, M E ; Nam, H ; Saltzman, E ; Mathur, G & Goldstein, L (2010). *Prosody and Movement in American Sign Language: A Task-Dynamics Approach*. Actes de Speech Prosody 2010, Chicago.
- Uyechi, L. (1996). *The Geometry of Visual Phonology*. Stanford : CSLI.
- Veale, T ; Conway, A & Collins, B. (1998). *The challenges of cross-modal translation: English to sign language translation in the ZARDOZ system*. Machine Translation 13. 81-106.
- Verlaine, L. Guitteny, P. & Legouis, P. *La langue des signes. Manuel du centre d'information sur la surdité d'Aquitaine*, voir aussi CIS <http://www.cis.gouv.fr>
- Yau, S-C. (1993). *Iconicité à deux niveaux : de la forme à la motivation*. Faits de langues 1:57-67. Paris : P.U.F
- Zhao, L ; Kipper, K ; Schuler, W; Vogler, C ; Badler, N, & Palmer, M. (2000). *A Machine Translation System from English to American Sign Language*. Association for Machine Translation in the Americas.

Annexes

Annexe 1 : alphabet dactylogique de la LSF



Annexe 2 : le formalisme AZee

A l'image d'un langage fonctionnel typé, les instruments de base du modèle AZee sont un ensemble de types, d'opérateurs et de constantes. Nous présentons ci-dessous les types ainsi qu'une sélection d'opérateurs du formalisme.

Les types

NUM valeur numérique. Exemple : 2, 5.4

BOOL, valeur d'une variable booléenne. Exemple : VRAI ou FAUX

PONT, un point dans l'espace de signation. Le formalisme AZee conçoit l'espace de signation comme un espace géométrique Euclidien. En désignant un point on peut construire ou placer une forme dans une partie spécifiée de l'espace.

VECT, vecteur de l'espace de signation.

LIST, liste des expressions AZee

SIDE, gauche/droite

BONE, Articulateurs animés par des rotations, exemple : la rotation de l'avant-bras, le pouce...etc.

CSTR, un ensemble de contraintes décrivant des formes. Elles peuvent porter sur l'orientation ou l'emplacement d'un articulateur squelettique mais aussi les articulateurs non squelettiques tels que les muscles faciaux et la direction du regard.

SCORE, représente les lignes temporelles sur lesquelles sont spécifiées des articulations. Il est le seul type qui permet une articulation dynamique (décrire une expression durable dans le temps).

AZOP est un type équivalent à une fonction dans un langage de programmation fonctionnel, il fait appel à des paramètres dont il dépend. Contrairement au type SCORE qui décrit directement une articulation (une forme associée), le type AZOP est particulièrement utile pour la formalisation de nos règles de production qui nécessitent des arguments.

Les opérateurs :

Pour montrer les descriptions de formes possibles à partir du langage AZee, nous présentons une sélection d'opérateurs du formalisme AZee :

Plus : numérique

Type : NUM, NUM \rightarrow NUM

Exemple : $1 + 3 = 4$

Scalevect : extension du vecteur

Type : NUM, VECT \rightarrow VECT.

Exemple : précision de la taille d'un vecteur

Orient : contrainte d'orientation

Type : str, BONE, str, VECT \rightarrow CSTR

Il s'agit dse contraintes articulaires pour orienter l'os d'un squelette dans l'espace de signation.

Place : contrainte de placement

Type : site, POINT \rightarrow CSTR

Il s'agit d'une contrainte d'articulation qui place un bone sur un point dans l'espace de signation. Le premier paramètre est une expression PONT, le bone doit être placé dans un point défini par le deuxième paramètre.

Morph: morph contrainte

Type : str, NUM \rightarrow CSTR

Il s'agit de contraintes articulatoires qui ne dépendent pas de l'animation d'un squelette, par exemple : les articulations faciales. Chaque Morph est désigné par un identifiant et peut être combiné avec des poids. Le premier argument est l'identifiant du morph à utiliser, le second est son poids [0, 1].

Key : maintien des restrictions

Type : NUM, CSTR \rightarrow SCORE

Une opération Key crée le score le plus basique. Par exemple le Key (D, C) ». La durée du score (D) est constituée de deux key-frames d'animation. L'ensemble de spécifications de contraintes comme : morphs, contraintes d'orientation, contraintes de placement etc. sont retenues dans C.

Synchroniser : synchroniser les scores

Type : nom, SCORE, liste de (nom, SCORE, sync-type) \rightarrow SCORE

Cet opérateur est l'apport majeur au modèle initial Zebedee, il permet la synchronisation d'une liste de score. Chaque score a un nom (souvent le nom de l'articulateur à décrire) et une position, désignée par rapport à un autre score. Une partie des types de synchronisation est désignée dans la liste ci-dessous :

- « Start-at », « end-at » : le score débute et se termine à partir de données temporelles ;
- « Start /end », « start / duration » : le score ajouté est étiré ou compressé pour s'adapter à des spécifications ;

Azop : créer un operateur AZee

Type : list of (str, AZexpr), AZexpr → AZOP

Le résultat est un azop qui peut être appliqué à un contexte nécessitant des arguments.

Appliquer : appliquer un AZOP à un contexte

Type : AZOP, liste de (str, AZexpr) → retourné par azop

Le premier argument est un azop à appliquer. Il est combiné généralement d'un nombre d'arguments obligatoires ou facultatifs qui le composent. La valeur retournée et le type sont donnés par la spécification de azop. Si l'azop est une règle de production, il en résultera un SCORE.

Annexe 3 : le corpus des 40 brèves

1A : Quelque 200 personnes pourraient avoir été tuées mercredi matin par un glissement de terrain provoqué par des pluies abondantes dans l'île indonésienne de Java, a annoncé à une source policière.

1B : Le processus de sortie de coma d'Ariel Sharon se poursuivait progressivement mercredi, alors que son équipe soignante le dit hors de danger "immédiat" une semaine après son attaque cérébrale.

1C : Abidjan, la capitale économique ivoirienne, était à nouveau paralysée mercredi, pour le troisième jour consécutif, par des jeunes partisans du président Laurent Gbagbo qui tiennent de nombreux barrages dans la plupart des quartiers, rendant la circulation quasiment impossible.

1D : La police égyptienne a arrêté mardi dix personnes soupçonnées d'implication dans le triple attentat qui a frappé la veille la ville touristique de Dahab sur la mer Rouge, tuant 18 personnes dont des étrangers.

1E : Le président tchadien Idriss Deby Itno, au pouvoir depuis 1990, a été sans surprise triomphalement réélu pour cinq ans à la tête du pays dès le premier tour de l'élection présidentielle du 3 mai, qui était boycottée par l'ensemble de l'opposition.

1F : L'Etat de Sao Paulo a vécu une deuxième vague d'attaques du crime organisé contre la police, avec un bilan de 52 morts dont 35 policiers en deux jours et la multiplication des mutineries dans les prisons, a-t-on appris dimanche de source officielle.

1G : Quelque 50.000 personnes se sont rassemblées jeudi soir à Podgorica, la capitale du Monténégro, pour exprimer leur volonté que cette république devienne indépendante, trois jours avant la tenue d'un référendum historique sur cette question.

1H : Le pape Benoît XVI célèbre vendredi à Varsovie sa première grande messe qui ouvre la deuxième journée de sa visite de quatre jours en Pologne, pays natal de son prédécesseur Jean Paul II.

1I : Le chef des soldats rebelles du Timor oriental, Alfredo Reinado, a opposé une fin de non-recevoir mercredi aux mesures présidentielles destinées à rétablir le calme dans le pays, rendant ainsi peu probable un dénouement rapide d'une crise qui perdure depuis plusieurs semaines.

1J : Le Premier ministre israélien Ehud Olmert et le président palestinien Mahmoud Abbas ont promis jeudi lors d'une rencontre informelle en Jordanie, la première à ce niveau depuis un an, de se rencontrer à nouveau pour remettre le processus de paix sur les rails.

1K : La secrétaire d'Etat américaine, Condoleezza Rice a montré mercredi son soutien au président afghan Hamid Karzaï, fragilisé par la pire vague de violences depuis la fin 2001 et le mécontentement d'une population frustrée par l'insécurité et la lenteur de la reconstruction.

1L : Au moins 525 personnes ont été tuées en Indonésie par un tsunami causé lundi par un séisme sous-marin, selon un nouveau bilan annoncé mercredi par le gouvernement.

1M : Le Congrès américain a approuvé jeudi un projet de loi très contesté définissant un cadre juridique pour les prisonniers de la "guerre contre le terrorisme", près de cinq ans après l'ouverture du camp de Guantanamo.

1N : Les espoirs de paix au Sri Lanka sont de nouveau mis à mal après le lancement mercredi d'une grande offensive militaire contre la rébellion tamoule dans le nord de l'île, au lendemain d'un accord pour rouvrir des négociations de paix fin octobre en Suisse.

1O : Le président George W. Bush a catégoriquement exclu jeudi que les troupes américaines se retirent battues d'Irak, 24 heures après avoir admis pour la première fois une analogie possible avec la guerre du Vietnam.

1P : L'ex-dictateur chilien Augusto Pinochet a été placé lundi à Santiago en état d'arrestation avec assignation à résidence pour la quatrième fois en cinq ans, après son inculpation pour les crimes commis à la Villa Grimaldi, la célèbre prison secrète du régime militaire.

1Q : L'homme d'affaires russe Dmitri Kovtoun a laissé de nombreuses traces de polonium 210 en Allemagne juste avant de rencontrer l'ex-agent russe Alexandre Litvinenko, dont la mort par empoisonnement pourrait avoir été ordonnée par Moscou, a affirmé dimanche sa veuve.

1R : Le Français Bernard Planche, 52 ans, retenu en otage en Irak pendant 35 jours, a retrouvé samedi la liberté près de Bagdad, et devrait très prochainement regagner la France.

1S : Le trafic aérien au départ de la France vers la Grande-Bretagne a été fortement perturbé jeudi après l'alerte antiterroriste déclenchée par Londres, tandis que les mesures de sécurité ont été renforcées.

1T: Dix ans après l'évacuation musclée de l'église Saint-Bernard, le 23 août 1996 à Paris, les sans-papiers et leurs soutiens ne veulent pas être "dans la commémoration" mais dans le "combat", comme l'illustre le mouvement autour des expulsés du squat de Cachan.

2A : Un homme de 25 ans qui voulait braquer un bureau de Poste à Limay (Yvelines) a retenu jeudi pendant trois heures cinq personnes en otages avant d'être tué par la police.

2B : Les quatre touristes français enlevés pendant 15 jours au Yémen sont arrivés mercredi peu avant 7H30 à l'aéroport de Roissy où ils ont été accueillis par le ministre des affaires étrangères Philippe Douste-Blazy.

2C : Dominique de Villepin préside ce lundi à 10H00 à Matignon une réunion sur la sécurité et les transports publics, après l'émotion unanime suscitée par l'incendie volontaire d'un bus samedi à Marseille où une jeune femme a été brûlée grièvement.

2D : La baisse du chômage a connu une pause au mois d'octobre en France, la deuxième depuis le début de l'année, le taux de chômage stagnant à 8,8%, mais le gouvernement n'a pas remis en cause son ambition d'une réduction du nombre de chômeurs sous le seuil des deux millions en 2007.

2E : Le trafic SNCF est assuré "en moyenne" à 95% sur l'ensemble de la France, avec un trafic perturbé dans les TER de quatre régions (Pays de la Loire, Centre, Alsace et Auvergne), et pour l'Ile-de-France 60% du trafic seulement assuré à Saint Lazare, en raison de grèves liées au service d'hiver, a indiqué mardi matin la direction.

2F : Un élève de 12 ans est mort jeudi dans un collège de Meaux (Seine-et-Marne) après avoir été frappé par un autre collégien de 11 ans et roué de coups à terre par d'autres élèves lors d'une bagarre après un cours d'éducation physique, selon des sources concordantes.

2G : Un éleveur français de 62 ans, Christophe Beck, enlevé il y a peu plus d'un an au Venezuela et dont le nom était depuis tombé dans l'oubli, a regagné la France dimanche, cinq jours après sa libération contre rançon par ses ravisseurs.

2H : L'Italie, au bout d'une finale interminable et crispante conclue aux tirs au but (1-1 a.p., 5-3 aux t.a.b.), a privé Zinédine Zidane, exclu en prolongation, d'une deuxième étoile, en remportant face à la France sa quatrième Coupe du monde de football, 24 ans après la dernière.

2I : Lyon a encore creusé l'écart en tête de la Ligue 1 de football après son succès face à Nancy 1-0 alors que Monaco, battu à Nantes 1-0 dans le choc des mal-classés, occupe désormais la dernière place du classement, à l'issue de la 11e journée disputée samedi et dimanche.

2J : Les partis de gauche se retrouvent mercredi à la Mutualité pour leur premier sommet depuis 2002, où la préparation d'actions communes prendra le pas sur celle de l'alternance en 2007, au lendemain de la journée de mobilisation contre le Contrat première embauche (CPE).

2K : Les policiers sont appelés à se rendre aux urnes de lundi à jeudi, pour les élections Professionnelles dans la police, après avoir récemment manifesté pour protester contre les "violences" dans les banlieues.

2L: Les soldes d'hiver démarrent mercredi dans toute la France et dès 00h00 sur Internet, avec des rabais monstres dans l'habillement car les commerçants doivent écouler les vêtements invendus après un automne trop doux, et rattraper une année 2005 en demi-teinte.

2M : Les ministres européens des Finances n'ont pas pris de décision mardi sur les services pouvant bénéficier d'un taux réduit de TVA, en raison de l'opposition inattendue de la République tchèque, de la Pologne et de Chypre, qui ont toutefois jusque dimanche pour changer d'avis.

2N : La direction d'Eurotunnel, menacé de dépôt de bilan, et ses créanciers se sont donné rendez-vous mercredi matin à l'issue de plusieurs heures de négociations infructueuses sur le refinancement de la dette de 9 milliards d'euros.

2O : L'Organisation des pays exportateurs de pétrole (Opep), après avoir longtemps tergiversé, devrait finalement se réunir la semaine prochaine au Qatar pour y annoncer officiellement une baisse de sa production, dans l'espoir de voir remonter les cours du pétrole.

2P : Le chômage a repris en septembre son mouvement de baisse engagé depuis plus d'un an et demi, le taux revenant à 8,8% et le nombre de demandeurs d'emploi diminuant de 1,4% en un mois, ce dont Jacques Chirac n'a pas manqué de se féliciter lundi.

2Q : L'Egypte a refusé jeudi le passage par le canal de Suez du Clemenceau, en route vers l'Inde pour son désamiantage, quelques heures après une spectaculaire opération coup de poing de Greenpeace, dont deux militants sont montés à bord du porte-avions français.

2R : Le porte-avions français Clemenceau s'est engagé, dans la nuit de dimanche à lundi, dans le canal de Suez, après une controverse de dix jours, sans savoir s'il pourra conclure son odyssée en Inde où il doit être désamianté et démantelé.

2S : L'équipage de Discovery, deux femmes et quatre hommes, se prépare lundi matin au grand plongeon devant les ramener en douceur en Floride au terme de la deuxième mission orbitale d'une navette depuis la catastrophe de Columbia, le 1er février 2003.

2T : Le lancement de la navette Atlantis est prévu ce mercredi à 16h29 GMT de Cap Canaveral (Floride), après avoir été reporté trois fois depuis le 27 août à cause d'orages puis de la tempête tropicale Ernesto.

Annexe 4 : représentation AZee de l'unité pointage

```
pointage
azop
  'cible
  'nodefault
  sync
    'Unit0
    key
      0
      place
        @I_TIP
          s
        translate
          ^cible
          along
            bwd
            small
          %%%%%%%%%%
        'Unit1
        transition
          .5
          list
            accel
              1
            path
              @I_TIP
                s
              'straight
            'start
            'Unit0:end:0
```

```

%%%%%%%%%%
'Unit2
key
    .25
    place
        @I_TIP
            s
        ^cible
'start
'Unit1:end:0
%%%%%%%%%%
'Hold0
key
    1
    list
        :L_closed
            'param$0
            s
        :R_closed
            'param$0
            s
        :M_closed
            'param$0
            s
        :I_straight
            'param$0
            s
    place
        @T_1
            s
            3

```

```
@M_BACK
      s
      2
orient
      'dir
      !index
      s
      1
      'along
      fwd
'start/end
'Unit0:start:0
'Unit2:end:0
```


Titre : Modélisation de la Langue des signes Française : Proposition d'un système à compositionnalité sémantique

Mots clés : Langue de Signes Française, modélisation, génération automatique, grammaire formelle

Résumé : La reconnaissance de la langue des signes française (LSF) comme une langue à part entière en 2005 a créé un besoin important de développement d'outils informatiques pour rendre l'information accessible au public sourd. Dans cette perspective, cette thèse a pour cadre la modélisation linguistique pour un système de génération de la LSF. Nous présentons dans un premier temps les différentes approches linguistiques ayant pour but la description linguistique des langues des signes (LS). Nous présentons ensuite les travaux effectués en informatique pour les modéliser.

Dans un deuxième temps, nous proposons une approche permettant de prendre en compte les caractéristiques linguistiques propres au LS tout en respectant les contraintes d'un processus de formalisation. En étudiant des liens entre des fonctions sémantiques et leurs formes observées dans les corpus LSF, nous avons identifié plusieurs règles de production. Nous présentons finalement le fonctionnement des règles comme étant un système susceptible de modéliser un énoncé entier en LSF.

Title : Modeling French Sign Language : a proposal for a semantically compositional system

Keywords : French sign language, computer modelling, automatic generation, formal grammar

Abstract: The recognition of French Sign Language (LSF) as a natural language in 2005 has created an important need for the development of tools to make information accessible to the deaf public. With this prospect, this thesis aims at linguistic modeling for a system of generation of LSF. We first present the different linguistic approaches aimed at describing the sign language (SL). We then present the models proposed in computer science. In a second step, we propose an approach allowing to take into account the linguistic properties of the SL while respecting the constraints of a formalisation process.

By studying the links between semantic functions and their observed forms in LSF Corpora, we have identified several production rules. We finally present the rule functioning as a system capable of modeling an entire utterance in LSF.

