



HAL
open science

Description lexicale des signes, intérêts linguistiques d'un modèle géométrique à dépendances

Michael Filhol, Annelies Braffort

► **To cite this version:**

Michael Filhol, Annelies Braffort. Description lexicale des signes, intérêts linguistiques d'un modèle géométrique à dépendances. *Revue TAL: traitement automatique des langues*, 2007, 48, 27p. hal-01633755

HAL Id: hal-01633755

<https://hal.science/hal-01633755>

Submitted on 13 Nov 2017

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.

Description lexicale des signes

Intérêts linguistiques d'un modèle géométrique à dépendances

Filhol Michael et Braffort Annelies

LIMSI-CNRS

Bat 508, campus d'Orsay

F-91403 Orsay cedex

michael.filhol@limsi.fr, annelies.braffort@limsi.fr

RÉSUMÉ. Cet article a pour objet la représentation formelle des lexiques des langues des signes. Les représentations existantes, basées sur la description systématique de paramètres, nous semblent trop rigides. Nous proposons un modèle flexible basé sur une approche géométrique et séquentielle. Nous discutons ensuite de sa représentation sous forme de graphes, permettant une mise en évidence claire de la structure de la description et des dépendances entre ses constituants. Nous présentons les apports possibles du modèle dans deux domaines : la génération automatique et la constitution de bases de données pour l'étude linguistique.

ABSTRACT. This article deals with formal representation of sign language lexicons. Present models are based on systematic parameter specification, which we think lacks flexibility. We suggest an adaptable model based on a sequential and geometric approach. Then we discuss a graphical representation for it that allows for a clearer view of the descriptions' structures and dependencies. We give hints on the benefits we see in the model onto two different domains: sign language synthesis and data base driven studies of sign languages.

MOTS-CLÉS : langue des signes française, signe, représentation lexicale, géométrie spatiale, graphes de dépendances.

KEYWORDS: French Sign Language, sign, lexical representation, spatial geometry, dependency graph.

1. Introduction

Le cadre de ce travail, illustré par la figure 1, est celui de la génération automatique d'énoncés en langue des signes par des signeurs virtuels (personnages de synthèse tridimensionnels). Le programme de génération (b) nécessite à *son entrée* une représentation informatique des séquences gestuelles désirées (a), pour articuler ses membres et ainsi produire à *sa sortie* des gestes et des signes (c). Quelle représentation donner en entrée ? C'est là tout l'objet de cet article qui se concentre sur l'étape (a). Nous ne traitons pas ici la traduction (b) des représentations données en commandes articulatoires à l'avatar.

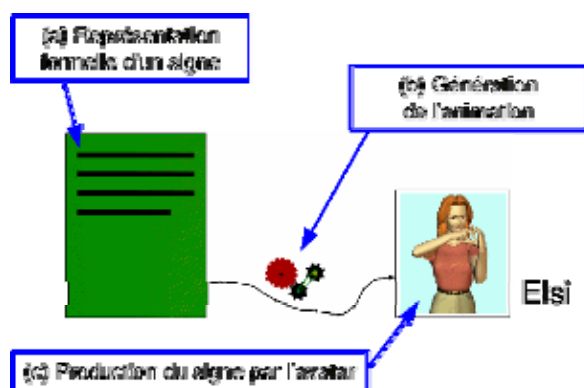


Figure 1. Contexte où s'inscrit le signeur virtuel

2. Représentation des signes : des dessins aux formalisations informatiques

L'utilisation classique d'une représentation des signes est celle du dictionnaire bilingue ou du livre pédagogique. Dans les deux cas, il est en général fait recours à des images présentant différents types de flèches ou de contours pour faire face à la perte d'information due à la projection de « quatre dimensions » (l'espace et le temps) sur un plan à deux dimensions (celui du dessin). En effet un signe se fait dans l'espace et possède une durée, contrairement au seul dessin. On joue sur la forme des flèches pour recréer la troisième dimension spatiale (figure 2) ; plusieurs dessins peuvent se superposer ou se suivre pour indiquer une séquence (figure 3).



Figure 2. [ODORANT]

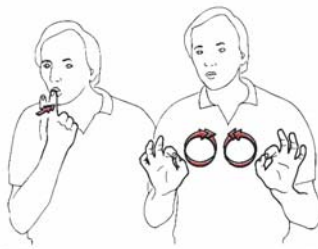


Figure 3. [INSIPIDE], signe composé de deux unités

Afin d'éviter de perdre toute dynamique, des indications peuvent accompagner les dessins, comme des marqueurs le long des flèches ou même une légende explicative. Notons que, dans ce dernier cas, on fait inévitablement usage d'une langue étrangère à celle modélisée.

Ces représentations sont depuis longtemps utilisées en linguistique et dans les classes de langue des signes, mais comptent sur une interprétation des images et des éventuelles annotations. Aussi claires puissent-elles être pour un humain, elles ne sont que qualitatives et difficilement formalisables.

Il existe toutefois des modèles plus systématiques, donc plus intéressants dans l'optique d'une formalisation, comme SignWriting (Sutton, 1995). Venant d'un système d'écriture chorégraphique, ce système propose toute une banque de symboles représentant des formes manuelles (configurations), des éléments de mouvements, de répétition, de contact, etc. Il est utilisé par certaines communautés de sourds pour communiquer par écrit ; la forme écrite représente chaque signe par une vignette dont la figure 4 montre un exemple. Les différents éléments constitutifs des vignettes sont en nombre limité, et constituent un vocabulaire fini de symboles. En revanche, les règles d'agencement de ces signes pour former les vignettes ne le sont pas. Pour lire une vignette, il faut encore une certaine part d'interprétation, notamment lorsque plusieurs contacts et mouvements se trouvent mêlés.



Figure 4. [LIRE], à droite en SignWriting

HamNoSys (Hambourg Notation System) (Prillwitz, 1989) est un autre système de transcription linéarisé (voir figure 5). L'ordre des symboles répond à une syntaxe et ne laisse plus de place à l'interprétation. HamNoSys est non ambigu, et offre du reste de meilleures possibilités quant à la localisation d'endroits du corps ou à la description des formes manuelles.

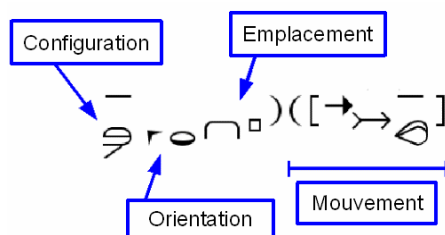


Figure 5. Exemple de notation HamNoSys pour [HAMBOURG]

Cette non-ambiguïté est une condition nécessaire à une formalisation informatique. En effet, il existe bien une formalisation SWML (Da Rocha, 2003) de SignWriting pour une utilisation informatique, mais celle-ci décrit seulement les vignettes originales ; elle ne comble pas les manques du modèle. Cela reste insuffisant pour piloter un signeur virtuel car tout l'implicite des images est conservé.

D'autres types de formalisation basés sur les paramètres ont été proposés dans le contexte de la génération automatique tels que (Lebourque, 1998 ; Losson, 2000). S'ils offrent des descriptions non ambiguës, la plupart comportent cependant des limites.

Le modèle développé par Lebourque possède l'originalité de définir les valeurs des paramètres en terme de cibles : cibles spatiales pour le mouvement (et l'emplacement de fait) et cibles articulaires pour la configuration et l'orientation. Cela apporte une certaine souplesse dans la définition des paramètres. Si la

description permet de définir des contraintes de succession ou de parallélisme entre les éléments, elle n'inclut pas cependant la gestion des contacts. Les aspects non manuels ne figurent pas non plus dans les descriptions.

Les travaux de Losson se sont inspirés du modèle phonologique proposé par (Liddell et Johnson, 1989). Le signe est décrit par une posture initiale, une posture finale et un mouvement intermédiaire. Les postures incluent la description de la configuration, du point de contact éventuel, de l'orientation et de l'emplacement. Le mouvement décrit la forme de la trajectoire ; d'éventuels modificateurs de mouvement permettant d'exprimer des phénomènes aspectuels au niveau de l'énoncé, et un éventuel mouvement secondaire au niveau des doigts. La représentation inclut aussi une description des expressions faciales (direction du regard, ouverture des yeux, forme des sourcils, forme de la bouche et forme des épaules). Si la description est plus complète que celle proposée par Lebourque, elle n'est cependant pas aussi flexible, car chacun des éléments dispose d'une liste finie de valeurs possibles.

Le modèle informatique le plus abouti est SigML (Kennaway, 2001 ; Elliott, 2004), étant lui-même une version informatisée de HamNoSys. La figure 6 donne un exemple de SigML. Ce système a été intégré à des logiciels de génération de signes dans le cadre de projets européens (eSign, ViSiCast) qui sont encore aujourd'hui les travaux de référence dans le domaine (Hanke, 2002).

```
<hamgestural_sign gloss="INFORMATIQUE">
  <sign_nonmanual>
    <head_tier> <head_movement
      movement="TL"/></head_tier>
  </sign_nonmanual>
  <sign_manual both_hands="true">
    <handconfig handshape="finger23spread"
      thumbpos="out"/>
    <handconfig extfidir="u"> </handconfig>
    <handconfig palmor="d"> </handconfig>
    <location_bodyarm location="shouldertop"/>
    <wristmotion motion="swinging"/>
  </sign_manual>
</hamgestural_sign>
```

Figure 6. Notation SigML pour [INFORMATIQUE]

Tous ces systèmes se basent sur une description des signes à quatre paramètres manuels, telle que la proposait Stokoe (Stokoe, 1960). Il décrivent tous les signes avec le même ensemble de paramètres, chacun se voyant attribué une valeur discrète, prise parmi un ensemble fini de valeurs possibles pour ce paramètre. Toutefois, selon nous, tous les signes ne présentent pas de valeur déterminée pour

tous les paramètres. Quand bien même certains seraient requis, ils ne seraient pas indépendants deux à deux tels que le suggère le modèle paramétrique. Nous développons ce propos dans la section suivante.

3. Un modèle géométrique

Cette section relève certains problèmes des modèles paramétriques et propose un nouveau modèle qui les pallie. La dernière partie est dédiée à une conséquence linguistique qu'impose ce modèle sur la place de l'unité lexicale.

Tous les exemples de signes dans la suite de cet article sont tirés de la langue des signes française, que nous noterons LSF. Les illustrations sont extraites du dictionnaire d'IVT (Moody, 1986).

3.1. *Limites des modèles paramétriques*

Nous rappelons dans cette section les arguments présentés dans (Filhol, 2006), selon lesquels trois problèmes des modèles paramétriques sont la surspécification, l'opacité aux relations interparamétriques et l'impossibilité d'intégrer les éléments lexicaux au discours de grande iconicité.

3.1.1. *Surspécification*

Un modèle qui définit une liste de paramètres, dont chacun doit être renseigné indépendamment des autres, donne à chacun des paramètres de la liste le même statut. Or, pour la plupart des signes décrits dans ces représentations, on peut distinguer des paramètres cruciaux, en cela qu'en changer la valeur ferait perdre au signe la totalité de son sens, et d'autres dont les valeurs ne font que compléter la liste, sachant que d'autres valeurs conviendraient aussi bien.

Par exemple, pour le signe [QUOI ?], les paumes des deux mains sont tournées vers le haut, et les doigts vers l'avant (figure 7). Cela dit, les doigts peuvent être légèrement tournés vers l'intérieur, voire changer au cours du temps puisque le signeur moyen produira une rotation autour du poignet ou du coude, ce qui a pour effet d'alterner entre les deux directions.



Figure 7. [QUOI ?]

Pour l'orientation de la main, HamNoSys (modèle paramétrique) spécifie deux valeurs, l'une pour le plan de la paume et le sens de son vecteur normal (par exemple, « vers le haut » ou « vers le corps »), l'autre pour le sens de « l'axe de la main » (voir figure 8). Cette dernière désigne la direction que prennent les doigts dépliés dans l'alignement de la paume, autrement dit celle du poignet vers la base des doigts.

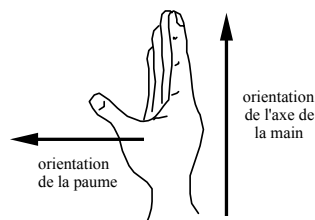


Figure 8. Définition de l'orientation de la main

Pour décrire [QUOI ?], la partie spécifiant le plan de la paume indique « vers le haut », mais qu'en est-il de l'axe de la main ? Deux valeurs parmi l'ensemble discrétisé des valeurs possibles en HamNoSys conviennent, à savoir « avant » et « avant-gauche ». Le problème est qu'il faut nécessairement en choisir une, *au même titre* qu'il faut choisir un plan pour la paume, et il est impossible ensuite de déterminer si une valeur est nécessaire ou simplement possible (voir fig. 9).

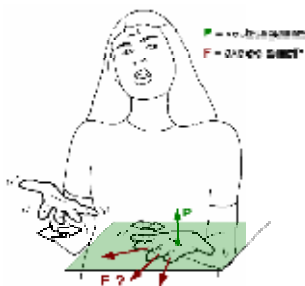


Figure 9. *Définition de l'orientation de la main*

Plutôt que de surspécifier la valeur affectée au paramètre d'orientation, nous proposons que la description soit juste suffisamment contraignante, mais que ce qui n'est pas nécessaire soit écarté. Pour [QUOI ?], nous posons la contrainte nécessaire que la paume soit tournée vers le haut et que la main s'inscrive dans un plan horizontal, mais n'en disons pas davantage quant à l'orientation.

3.1.2. *Dépendances paramétriques*

Dans un modèle paramétrique, les paramètres sont considérés séparément. À chacun est affectée une valeur sans regard sur les autres paramètres. Ceci signifie que ces affectations peuvent toutes être faites simultanément. Mais cela ne rend compte d'aucune influence interparamétrique, ou dépendance d'une valeur sur une autre comme c'est le cas dans [BUREAU] (figure 109). Dans ce signe, la direction du mouvement de la main dominante dépend de l'axe de l'autre main, quel qu'il soit.



Figure 10. *[BUREAU] : un mouvement dépend d'une orientation*

Il s'agit d'un cas où un paramètre de mouvement dépend d'un paramètre d'orientation. Mais l'inverse peut se produire, par exemple dans [BALLON], illustré

figure 11. Dans ce signe, c'est au contraire l'orientation d'une main qui dépend de son mouvement car elle dépend, à tout instant, de sa position.



Figure 11. [BALLON] : une orientation dépend d'un mouvement

Ce deuxième cas de dépendance a été partiellement traité dans les plus récentes versions d'HamNoSys avec un opérateur de relativité, noté « ~ ». Il s'inscrit en dessous d'un élément d'orientation (sens de la paume ou de l'axe de la main) pour le rendre « relatif au chemin de la main correspondante ». Pour [BALLON], on décrit le sens de la paume « vers le bas » (orientation de départ) et relative au chemin, ce qui aura pour effet de la conserver tangente à la trajectoire.

Plus ou moins intuitive, cette solution n'est pas suffisante en ce qui concerne les dépendances paramétriques, car aucune autre forme de dépendance n'est traitée. Celle relevée dans [BUREAU] demeure impossible à identifier dans une description en HamNoSys : le mouvement ne peut faire référence à l'orientation, d'autant moins qu'il s'agit d'une dépendance impliquant les deux mains.

De plus, nous postulons que certaines valeurs paramétriques peuvent dépendre d'autres objets n'étant des paramètres ni d'une main ni de l'autre. Typiquement, beaucoup de signes fortement iconiques, reprenant la forme globale d'un objet concret, sont produits en imaginant des aspects de l'objet dans l'espace. Par exemple, si les deux mains montent face à face dans le signe [IMMEUBLE] (figure 12), il ne s'agit pas de deux mouvements séparés mais du résultat d'une symétrie de l'une et l'autre des façades de l'immeuble par rapport à l'axe de son élévation. Cet axe est présent à l'esprit du signeur – pensons à la façon dont il reprendrait ce signe pour évoquer la tour de Pise – mais ne se matérialise dans aucun paramètre manuel.

Soit L cet axe. La main dominante se déplace en montant le long de L et sa paume est dirigée vers L tout au long du signe. La position et le sens de la paume de la main dominée ne sont autres que les symétriques des premières par rapport à L . Ainsi le mouvement et l'orientation des deux mains dépendent tous d'un même élément construit, non paramétrique, non connecté au corps ni présent dans la

réalisation finale, à savoir la droite *L*. L'élément *L* est crucial à la définition du signe, mais ne correspond à aucun paramètre, au sens de Stokoe.



Figure 12. *[IMMEUBLE]* et son axe de symétrie

Afin de rendre possibles tous les cas mentionnés jusqu'ici, notre modèle n'impose pas de paramètres universels d'une part, et offre à toute partie de la description la possibilité de se référer à d'autres parties de cette description d'autre part. Ainsi, nous évitons la surspécification et rendons visibles les dépendances entre les parties de la description.

3.1.3. *Signes en grande iconicité*

Il reste encore à souligner sans doute la plus grande des limites des modèles en place. Inscrivant notre travail dans le cadre théorique de l'iconicité de C. Cuxac, il nous apparaît comme fondamental que les modèles de description prennent en compte la faculté des signes à s'adapter aux nombreuses influences du contexte lors du discours. Une grande partie de la richesse des langues des signes et de leur puissance en concision vient de cette faculté, elle-même permettant entre autres le basculement d'une suite de signes dits standard aux structures de grande iconicité (Cuxac, 2000). Par exemple, le signe [BOÎTE] (figure 13) peut être utilisé en LSF pour évoquer une « grande boîte » en augmentant la distance entre les mains par rapport au signe standard (par ailleurs le signeur écartera sans doute les coudes en gonflant les joues).



Figure 13. [BOÎTE]

Il existe plusieurs structures de grande iconicité : les transferts de taille et de forme, les transferts personnels ou de situation... Formaliser de telles structures pour la génération automatique n'est guère aisé et les rares études n'ont abordé que superficiellement certains aspects. Des travaux ont proposé de redéfinir le paramètre d'emplacement en cas de spatialisation, ainsi que la configuration en cas d'utilisation d'une proforme (Hanke, 2002 ; Kervajan, 2006). Les « *classifier predicates* », tels que formalisés par (Huenerfauth, 2006) pour la génération automatique, se rapprochent eux des transferts situationnels de Cuxac. Mais nous ne trouvons rien qui soit réellement proche de la richesse appuyée dans son livre (Cuxac, 2000).

Une structure de grande iconicité utilisant un signe standard n'agit pas uniquement sur un emplacement ou sur une configuration de la main, mais peut toucher une direction, une trajectoire, le regard, etc. Ces redéfinitions étant chose courante en langue des signes, elles ne peuvent être systématiquement ignorées lors de la mise au point de modèles de description. Pour reprendre l'exemple ci-dessus, décrire [BOÎTE] sans donner de souplesse à la distance séparant les mains affaiblit, voire détruit toute possibilité de réutiliser ce signe.

3.2. Résumé du modèle géométrique à dépendances

Nous avons esquissé dans (Filhol, 2006) un modèle de description lexicale des signes, prévu pour pallier les problèmes soulignés plus haut. Les trois propriétés voulues sont les suivantes, et constituent les défis respectifs des sections qui suivent :

- que toute information superflue ou surcontraignante n'apparaisse pas dans la description ;
- qu'au contraire les dépendances entre les objets de la description y soient apparentes ;

- que la description soit suffisamment flexible pour permettre au signe de s'adapter à différents contextes.

3.2.1. Vers la fin de la surspécification

Une analyse statistique de la LSF (Braffort, 1996) montre que les éléments de géométrie spatiale sont courants dans les signes de LSF : la plupart des signes bimanuels comportent une symétrie ou un parallélisme, un grand nombre de mouvements décrivent des droites ou des cercles... Pratiquement toutes les descriptions spontanées font appel à une notion géométrique. La géométrie étant essentielle, nous considérons le signe comme une construction géométrique dans l'espace plutôt que comme une liste de variables prédéfinie.

Comme pour toute figure de la géométrie classique, on y construit pas à pas des points, des droites, des plans, grâce à un langage de spécification formel et non ambigu jusqu'à obtenir la figure désirée. La spécification d'un signe suppose qu'à partir d'un espace initialement vide (ici, l'espace de signation), l'on construise un par un tous les objets nécessaires en les contraignant suffisamment pour obtenir la construction finale. Les contraintes portent soit sur des objets construits de l'espace (comme L sur la figure 12) pour les spécifier géométriquement, soit sur des éléments corporels, objets préexistants utilisables comme des objets construits. Enfin, en paramétrant certaines données par une variable temporelle qui parcourt la durée du signe, on peut rendre la figure dynamique, en cela que les valeurs non fixes feront se déplacer les différents objets dans l'espace.

Ceci règle le premier défi (§ 3.1.1) car, libre de construire tout objet nécessaire et de contraindre à volonté, il n'existe aucune obligation de construire des objets superflus ou de surcontraindre. Partant de l'espace vide, on construit autant (et aussi peu) que nécessaire pour la description. Rien n'est à ajouter ou compléter pour la simple raison de convenir au modèle.

Pour [BALLON], par exemple, nous avons besoin de différents objets géométriques :

- P , un plan de symétrie des mains passant par le centre du ballon, mettons $\{Loc\}$;
- S , un point de départ sur P pour la main dominante MD, à une distance au-dessus de $\{Loc\}$ que nous notons $\{Rad\}$;
- Tr , sa trajectoire en arc de cercle où pour tout instant t de 0 à 1 :
 - $x_{MD}(t) = \{Rad\} \times \cos(\pi t) + x_{\{Loc\}}$
 - $y_{MD}(t) = y_{\{Loc\}}$
 - $z_{MD}(t) = \{Rad\} \times \sin(\pi t) + z_{\{Loc\}}$
- une trajectoire pour la main dominée Md, symétrique de la précédente par rapport à P .

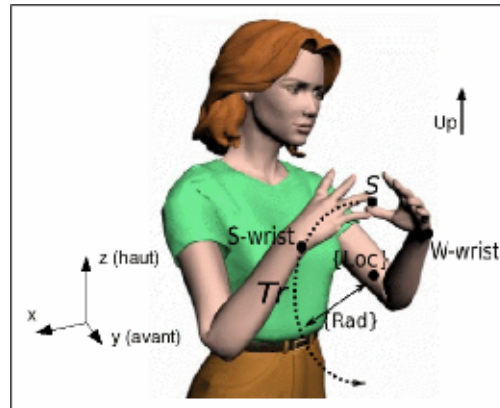


Figure 14. Objets géométriques pour [BALLON]

La figure 14 représente les différents objets géométriques présents dans la description de [BALLON], superposés à une image d'Elsi¹, la signeuse virtuelle du Limsi (Bolot, 2006). Seul le plan de symétrie y est omis, pour des raisons de clarté.

La formule de l'arc de cercle ci-dessus vient d'une interpolation linéaire, ce qui n'est sans doute pas satisfaisant pour le dynamisme du geste. Là n'est pas le propos ; toute formule jugée meilleure peut être employée à la place, notamment intégrant un facteur d'accélération. On peut remarquer en revanche que changer la formule change le comportement des deux mains. Cette remarque prend tout son sens dès la section suivante.

3.2.2. Révéler la structure des signes

La figure 15 montre la forme de langage que nous utilisons pour le modèle descriptif. Il présente des commandes de construction aussi bien que de contraintes sur les objets construits, une sur chaque ligne. Le langage étant amené à évoluer – notamment au profit d'une notation XML plus standard – c'est moins les mots-clés visibles sur la figure que la stratégie employée qu'il conviendra de retenir.

Cette approche géométrique est également une solution directe au deuxième défi. Chaque objet de la description peut faire référence à un ou plusieurs autres objets construits ailleurs – comme le point de départ de [BALLON] fait référence au plan défini en premier lieu – ce qui rend compte directement des dépendances entre les éléments. Si un élément fait référence à un autre, les deux sont en dépendance directe et explicite. Ainsi, contrairement aux modèles à paramètres simultanés, une structure et un ordre de construction propre au signe se dégagent de chaque description.

1. ELSI : Elsi is Limsi's Signer

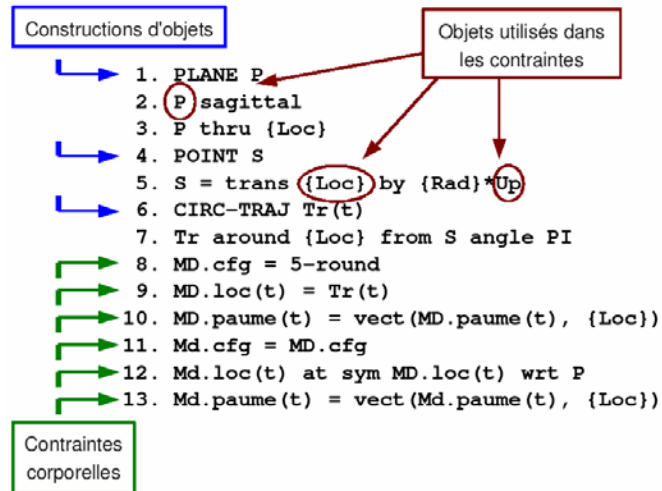


Figure 15. Description de [BALLON] avec le modèle géométrique

Les lignes 1, 4 et 6 sont des commandes de **construction d'objet**. Elles construisent chacune un objet géométrique typé. Les lignes 2, 3, 5 et 7 sont des **contraintes d'objet**, les lignes 9, 10, 12 et 13 sont des **contraintes corporelles**. Les lignes 8 et 11 sont en réalité des **alias** faisant chacune appel à plusieurs contraintes corporelles qui respectivement place la main dominante dans la configuration donnée, et copie la configuration de celle-ci. La variable t est l'indice temporel dont les objets sont éventuellement fonction, que l'on fait varier entre 0 et 1, par exemple. Les valeurs utilisées dans les formules des contraintes peuvent être :

- des constantes : Up ligne 5, PI ligne 7 ;
- des objets construits : P ligne 12 ;
- des objets préexistants : $MD.paume$ ligne 10 ;
- des objets contextuels : $\{Loc\}$ ligne 3 (voir paragraphe suivant) ;
- la variable temporelle t .

L'ensemble de la description peut se lire comme suit (figure 16) :

1. Construction d'un PLAN DE SYMÉTRIE
2. sagittal
3. passant par le **centre du ballon**

4. Construction d'un POINT DE DÉPART pour MD
5. au-dessus du **centre** à une distance égale au **rayon**

6. Construction d'une TRAJECTOIRE circulaire
7. de centre celui du ballon et parcourant un demi-cercle à partir du **point** construit en 4

8. La **config.** de MD est fixée une fois pour toutes
9. La main suit exactement la **traj.** construite en 6
10. À tout instant sa **paume** est orientée vers le centre
11. Les deux config. sont identiques
12. La **main dominée** se place symétriquement à l'autre par rapport au **plan de symétrie** construit en 1
13. Sa **paume** est également orientée vers le **centre**

Figure 16. Explication de la description de [BALLON]

Une description consiste ainsi en une liste de commandes de construction d'objet, de contrainte ou éventuellement des alias. Si une ligne contient une référence à un objet d'une autre ligne, cette dernière doit être placée avant la première. Par exemple, à la ligne 7, la trajectoire utilise le point *S* comme point de départ, celui-ci étant défini avant. Les descriptions font ainsi apparaître les dépendances entre éléments. De manière générale si un élément A dépend d'un élément B, au moins une contrainte sur A fera référence à B.

Moins directement, il est aussi possible de remarquer que la trajectoire de la main dominante dépend du centre du ballon, c'est-à-dire de l'objet *{Loc}*. En effet la ligne 5 nous indique que le point *S* dépend de *{Loc}*, mais comme nous venons de le voir, la trajectoire de la main dominée dépend de ce point *S*. Ainsi par transitivité, nous pouvons déduire que cette trajectoire dépend de *{Loc}*, intuitivement le centre du ballon. Ceci se conçoit relativement aisément : si l'on bouge le centre du ballon, il va de soi que la trajectoire de la main dominante sera déplacée d'autant.

En poussant cette relation de transitivité un cran plus loin, on peut déduire de la symétrie entre les deux mains que la trajectoire de la main dominée dépend elle aussi du centre du ballon. On appelle *dépendances indirectes* les relations de dépendances obtenues par transitivité à partir de relations de dépendances directes.

3.2.3. Grande iconicité

Les structures de grande iconicité ont toujours été dans nos préoccupations lors de l'élaboration du modèle. Celles-ci, notamment durant les transferts de taille, de forme et de situation, réutilisent couramment des signes standard en les modifiant

comme nous l'avons présenté plus haut ou comme le décrit (Cuxac, 2000) tout à fait en détail.

Pour cela, le modèle permet d'étendre les dépendances possibles lors de la spécification d'un objet à des dépendances externes. Ce nouveau type de dépendance permet à une description de faire référence non plus uniquement à un autre objet, pourvu que celui-ci soit défini plus avant dans la description, mais à un élément qui indique une valeur contextuelle, à récupérer (si elle existe) au moment de la signation.

Par exemple, la description pour [BOÎTE] peut faire référence à la notion de taille. Lorsque le signe sera produit en situation non plus de lexique simple mais d'énoncé signé (c'est-à-dire accompagné d'un contexte), le signe pourra être augmenté d'un attribut de taille, ce qui aura pour effet d'adapter toutes les articulations gestuelles comme il convient, sans avoir eu recours à de nouvelles règles ou à des traitements spécifiques d'exceptions à un niveau supérieur, souvent appelé syntaxique.

Ceci nous amène donc à considérer des références à de nouveaux types d'objets dans les descriptions : des objets contextuels, se trouvant « à l'extérieur » du signe décrit. Ce sont ces éléments qui apparaissent entre accolades sur la figure 15. L'objet *{Loc}* désigne le locus du ballon (géométriquement, un point), c'est-à-dire son emplacement dans l'espace de signation au moment de le signer en contexte. En effet, [BALLON] est un signe relocalisable, dont l'emplacement au sens paramétrique est parfois appelé « l'espace neutre ». *{Rad}* désigne son rayon, sa taille ; géométriquement, c'est une distance.

3.2.4. *Bilan*

Dans les modèles traditionnels, le fait de rendre certains paramètres optionnels pourrait rendre compte d'une certaine sous-spécification dans les signes, même si nous pensons que les descriptions profitent d'une structure moins figée. En revanche, aucune notion de dépendance ne peut apparaître de façon satisfaisante à partir du moment où l'on considère que des éléments peuvent dépendre d'objets qui ne sont finalement que dans la tête du locuteur et invisible au final. En réalité, c'est *l'intention* du locuteur qui motive ici les descriptions, et non les résultats visibles de la réalisation. En cela, notre approche est voisine de celle de (Liddell, 1989) et répond aux remarques soulevées par (Kennaway, 2004) sur l'intentionnalité.

3.3. *Redéfinition du niveau lexical*

Le traitement automatique des langues (TAL) a longtemps vu la langue comme un système construisant le sens (niveau sémantique) à partir de phrases, elles-mêmes construites (niveau syntaxique) à partir d'une syntaxe appliquée à un lexique de

mots (niveau lexical). Ces mots forment une liste de briques utilisables, encapsulables dans une phrase mais au niveau lexical, ceux-ci n'ont pas d'indication sur la manière dont ils contribueront au sens de l'énoncé. Chaque unité lexicale a une représentation complète et autonome, sans mention d'un éventuel contexte auquel elle pourrait contribuer. Ensuite, divers mécanismes (comme la syntaxe) les utilisent pour former du sens en les combinant, comme on disposerait des briques pour construire une maison.

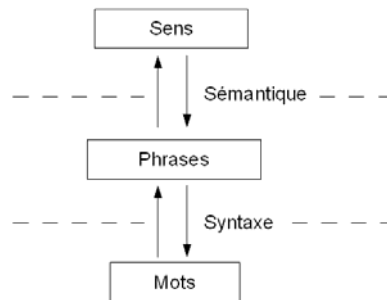


Figure 17. Couches linguistiques traditionnelles en TAL

Avec le modèle géométrique, la présence de dépendances externes dans les descriptions fait que des éléments contextuels, à savoir du niveau sémantique ou pragmatique, s'immiscent aussi bas dans le modèle linguistique à couches qu'au niveau du lexique. On ne peut plus alors considérer des couches séparées, l'une au-dessus de l'autre à l'image de mécanismes TAL bien délimités.

Nous ne remettons pas en cause ici la notion de lexique ou de sémantique, mais contestons qu'en langue des signes il soit possible de définir l'une sans l'autre. La sémantique reste l'interprétation d'un flux de signes, mais un lexique décrit ses unités en incluant des éléments d'interprétation. Ces notions sont pour nous très imbriquées, aussi aucune ne précède l'autre dans la lecture ou la production d'énoncés signés. Elles ne sont pas cloisonnées comme ce qu'illustre la figure 17.

Ceci a un impact fort sur la manière de décrire un signe lexical. Il faut non seulement déterminer ce qui est fixe (et ne pas fixer trop comme on l'a vu !), mais également déterminer ce qui est du ressort du contexte. Il ne s'agit plus de décrire une occurrence standard et compter sur des niveaux hiérarchiquement supérieurs au lexique décrit pour déformer tant bien que mal le signe et l'intégrer dans l'énoncé le moment venu. Ces déformations ne sont pas des exceptions qui déforment les briques de construction de la phrase, ce sont ces briques qui intrinsèquement sont modulables et qu'il faut décrire comme telles dans le lexique.

4. Représentation sous forme de graphes de dépendances

Nous venons de présenter un nouveau modèle de représentation des signes et à quel point la notion de dépendance (contextuelle incluse) nous est essentielle. Cependant l'écriture sous forme de commandes séquentielles est difficile à appréhender par le linguiste qui voudrait en tirer quelque propriété. Ce constat nous a menés à en proposer une représentation graphique, inspirée par la théorie des *graphes de dépendances*². Cette partie montre comment représenter graphiquement une séquence descriptive et comment utiliser de tels graphes pour mener des analyses à caractère linguistique.

4.1. Application aux descriptions lexicales

Nous proposons d'utiliser les graphes de dépendances à partir des descriptions telles que nous les avons présentées en section 3.2 pour en obtenir une représentation graphique. À chaque description peut être associé un graphe de dépendances comme suit :

- l'ensemble des objets utilisés dans la description constitue l'ensemble des sommets du graphe, par exemple le plan P ou les points S et $\{Loc\}$ de la figure 15 ;
- si un objet B de cette description dépend (au sens introduit en 3.2.2) d'un autre objet A de la description, on définit une arête de A vers B dans le graphe associé, *i.e.* l'arête AB .

Par exemple, la ligne 3 de l'exemple figure 15 met en relation de dépendance directe deux objets, P et $\{Loc\}$. P est défini à partir de $\{Loc\}$, donc dépend directement de ce dernier, ce que nous représentons par une arête de $\{Loc\}$ vers P . En considérant de même toutes les dépendances directes de la description, nous obtenons le graphe présenté en figure 18.

2. Un *graphe de dépendances* est un graphe orienté représentant une situation où des choses ou des événements ne peuvent exister ou se passer que si d'autres les ont précédés. Les sommets du graphe représentent les événements et on définit une arête XY si X est requis avant Y .

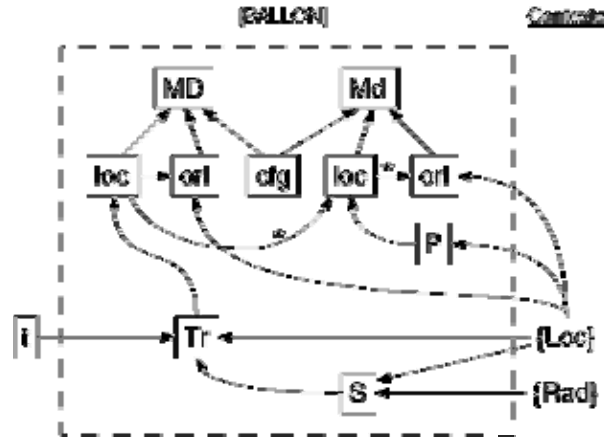


Figure 18. Graphe des dépendances de la description pour [BALLON]

En prenant le soin de placer les éléments contextuels dans une zone « contexte » sur la droite, ces représentations graphiques mettent mieux en évidence la structure de la description associée. Le nombre et le flot des dépendances internes, externes et temporelles (variable t à gauche) deviennent plus visibles que sur la version impérative.

Aussi, certaines erreurs peuvent être repérées plus facilement. Par exemple, si un graphe contient un cycle³ c'est qu'il y a une erreur dans la séquence de la description associée. Des objets sont en fait définis comme mutuellement (récursivement) dépendants et la description ne permet pas de les déterminer au moment d'instancier le signe. Cette propriété est pratique à l'élaboration d'une description. Par exemple dans la description de [BALLON], elle évite de définir le centre au milieu des deux mains. Ce n'est pas faux, mais redondant et créerait un cycle car les mains (leurs trajectoires) dépendent déjà, entre autres, du centre lui-même.

On voudra aussi éviter les graphes qui contiendraient un sommet de degré sortant⁴ nul s'il représente un objet géométrique construit, c'est-à-dire s'il n'est pas une donnée rattachée au corps du signeur comme les sommets *MD* ou *ori*. Un objet

3 On appelle *cycle* dans un graphe orienté une suite de sommets dans laquelle : (1) un sommet A est suivi d'un sommet B seulement s'il existe une arête AB dans le graphe ; (2) le dernier sommet est égal au premier. En bref, si l'on suit les arêtes d'un graphe, de sommet en sommet, et que l'on retombe sur un sommet déjà rencontré, c'est qu'un cycle a été parcouru.

4 Le *degré* d'un sommet est le nombre d'arêtes adjacentes à ce sommet. Le nombre d'arêtes partant du sommet est le *degré sortant* ; le nombre d'arêtes arrivant au sommet est le *degré entrant*.

explicitement construit dont rien ne dépend est un objet inutile, et devrait mettre la puce à l'oreille du linguiste quant à un élément superflu dans la description ou un manque de contraintes sur un autre sommet qui utiliserait cet objet. Reprenons l'exemple de [BALLON]. Comme nous avons S comme point de départ, nous pourrions penser à définir un point F d'arrivée pour la trajectoire Tr . Mais Tr est définie par la distance parcourue et non par ses extrémités (voir ligne 7, figure 15). Rien ne dépendrait alors de F , objet construit dont le sommet dans le graphe aurait un degré sortant nul. Nous ne contestons pas l'existence de F ni la possibilité de définir une trajectoire par ses extrémités. Le linguiste pourra justement choisir l'une ou l'autre des manières de définir Tr en fonction de ce qui se rapproche le plus de l'intention du signeur. Mais choisir les deux serait redondant.

4.2. Exemples complémentaires

Pour illustrer la construction de graphes, nous avons choisi ci-dessus l'exemple [BALLON], fourni en dépendances aussi bien internes qu'externes et parmi les plus complexes que nous avons été amenés à traiter. Cependant, tous les graphes ne contiennent pas autant de sommets, ni ne présentent autant de dépendances entre eux. Nous donnons ici trois exemples commentés de graphes supplémentaires, dont nous nous servirons dans la suite.

Nous commençons par le graphe sans dépendance externe [GARÇON] (figure 19), où quel que soit le contexte l'extrémité du pouce parcourt horizontalement le front. Les sommets A et B désignent les points de départ et d'arrivée, et Tr la trajectoire qui en dépend. Bien entendu, loc , emplacement de la main à l'instant considéré, dépend de cette trajectoire. Enfin, nous avons un sommet pour la configuration car celle-ci est distinctive pour le signe.

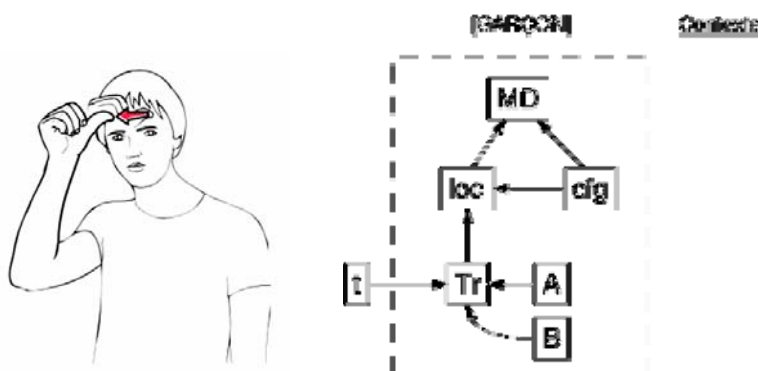


Figure 19. [GARÇON] et son graphe

Nous attirons l'attention sur l'absence de contraintes et de sommets pour l'orientation de la main. En effet, si elle se fait souvent paume vers le bas, elle se fait souvent vers la gauche (pour MD à droite), voire avec une torsion du poignet pour accélérer le mouvement. L'orientation est finalement libre et non distinctive.

Jusqu'ici, nous positionnions la main (plus exactement un point de référence de la main, souvent le poignet) dans l'espace, ou en un point plutôt flou dont la précision avait peu d'importance. Or, nous voulons là positionner le pouce contre le front et effectuer un contact précis. Le poignet doit donc être positionné en décalage avec le point désigné par la trajectoire, et ce décalage dépend de la position des doigts, donc de la configuration. Ceci explique la dépendance de l'emplacement sur la configuration.

Le deuxième exemple contient un mouvement similaire et requiert la même configuration de la main. Il s'agit du signe [CICATRICE] illustré figure 20, souvent traduit « coupure » ou « opération » en français. Le graphe est donc similaire en ce qui concerne la structure et les dépendances internes mais le signe peut se réaliser à n'importe quel endroit du corps et même, dans le cas d'une opération sur table, devant le signeur. C'est pourquoi les emplacements de départ et d'arrivée subissent l'influence du contexte, à savoir l'endroit *{Loc}* de la coupure, ainsi que sa forme pour en extraire précisément les extrémités, d'où l'objet contextuel *{Forme}*.

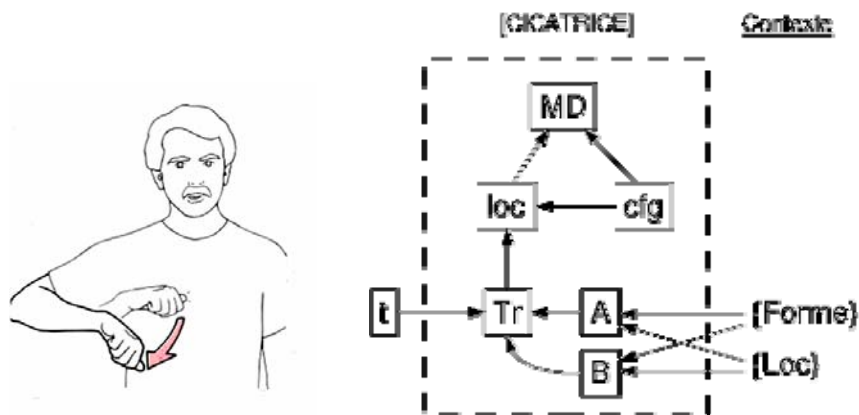


Figure 20. [CICATRICE] et son graphe

Enfin, nous illustrons figure 21 le graphe pour [BUREAU], dont nous avons déjà discuté un aspect plus haut. Ce qui est remarquable sur cet exemple est le fait que la trajectoire *Tr* de la main dominante dépend de l'emplacement et de l'orientation de la main dominée. En effet, quel que soit le positionnement du bureau dans l'espace (éléments contextuels *{Loc}* et *{Sens}*) influençant le positionnement de la main dominée *Md*), la trajectoire se fait :

- juste au-dessus de celui-ci, d'où la dépendance à *Md.loc* ;

- et dans la direction donnée par l'axe de Md, d'où la dépendance à Md.ori.

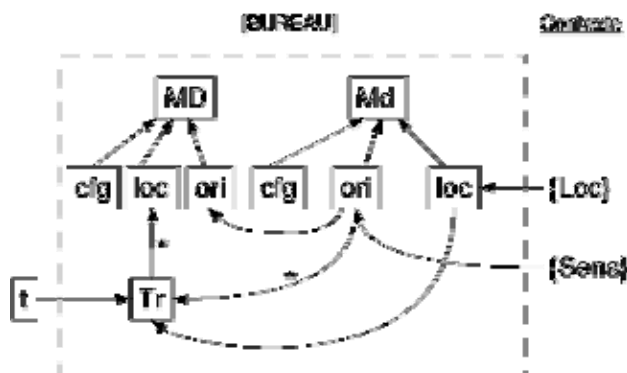


Figure 21. Graphe pour [BUREAU]

4.3. Analyse des descriptions

Dans cette section, nous présentons trois pistes d'analyse qui peuvent être menées sur ces graphes. Celles-ci nous semblent intéressantes, d'un point de vue linguistique, et nouvelles, car impossibles avec les seules données paramétriques.

Un sommet de degré entrant nul représente un objet qui ne dépend de rien, construit sans référence à aucun autre. Intéressons-nous à l'ensemble de ces sommets pour un graphe, c'est-à-dire à l'ensemble des objets desquels tout le reste de la description dépend. Pour [BALLON], cet ensemble est réduit à trois éléments : *{Loc}*, *{Rad}* et *cfg*, la configuration utilisée par les deux mains. On constate la présence d'un élément interne (constant) *et*, sans surprise, de toutes les dépendances externes (leurs valeurs viennent du contexte et sont à considérer comme des briques de base). Ceci laisse supposer un rôle particulier pour ces éléments, que l'on identifiera comme *éléments essentiels* à la description.

Considérons la partie centrale des graphes, c'est-à-dire la zone encadrée sur les schémas. Elle correspond au signe sans ses dépendances externes, à savoir ce qu'il y a de commun à toutes les réalisations possibles du signe. Autrement dit, elle est la partie constante du signe quel que soit le contexte et nous l'appelons *noyau* du signe. À titre d'exemple, nous comparons les noyaux de [GARÇON] et de [CICATRICE] donnés en figures 19 et 20. On s'aperçoit qu'ils sont rigoureusement identiques. Notons qu'avec un modèle paramétrique, ces deux signes sont considérés comme distincts car différents par leur paramètre d'emplacement, ce qui constitue une *paire minimale* au sens phonologique. Mais ce n'est pas si simple et dans le cas d'une cicatrice au front, les deux signes deviennent identiques. Notre modèle apporte cette nuance : il permet de visualiser cette identité des noyaux et

laisse voir de possibles homosignes selon le contexte (forme et emplacement de la cicatrice). L'étude de ces graphes est à tout le moins une base de discussion pour traiter cette question et amorcer une réflexion sur la notion « d'inclusion » d'un signe dans un autre par leur structure.

La question des signes relocalisables a souvent été traitée par la notion « d'espace neutre », c'est-à-dire un emplacement non spécifié, qui hors contexte se matérialise simplement devant le signeur. Ainsi les signes dans cet espace neutre seraient relocalisables et les signes dont l'emplacement est spécifié, notamment imposant un contact avec le corps, ne le seraient pas. Sur le graphe de [CICATRICE], on s'aperçoit qu'il existe une influence du contexte sur l'emplacement de la main (par exemple, en considérant le chemin $\{Loc\}, A, Tr, MD.loc$), donc que le signe est relocalisable. Cependant cet emplacement peut être contraint à des emplacements du corps (appendicite, opération du cœur...). Ceci est un contre-exemple de l'hypothèse ci-dessus.

4.4. Vers une utilisation dans une base de données

Lorsque l'on manipule un grand nombre de descriptions, les bases de données informatisées deviennent en général incontournables pour faire des analyses statistiques car :

- leur capacité de stockage est quasi infinie ;
- leur temps de calcul (*i.e.* le temps nécessaire à parcourir l'ensemble des données stockées) est quasi nul.

Un dictionnaire bilingue informatisé (figure 22) est en train d'être mis en place au Limsi. Chaque signe sera visualisé sous forme d'une animation en 3D. Les requêtes accèdent actuellement à une liste de signes en fonction de critères basiques sur le nombre de mains, le type de configuration de chaque main – nous groupons les configurations possibles en nous inspirant des « features » de [Liddell 89] – et l'emplacement du début du mouvement. Il est prévu d'associer à chaque signe sa description géométrique afin d'étendre les capacités de requêtes à la base. Dans cette partie, nous exposons les nouvelles possibilités de requêtes qu'ouvre notre modèle.

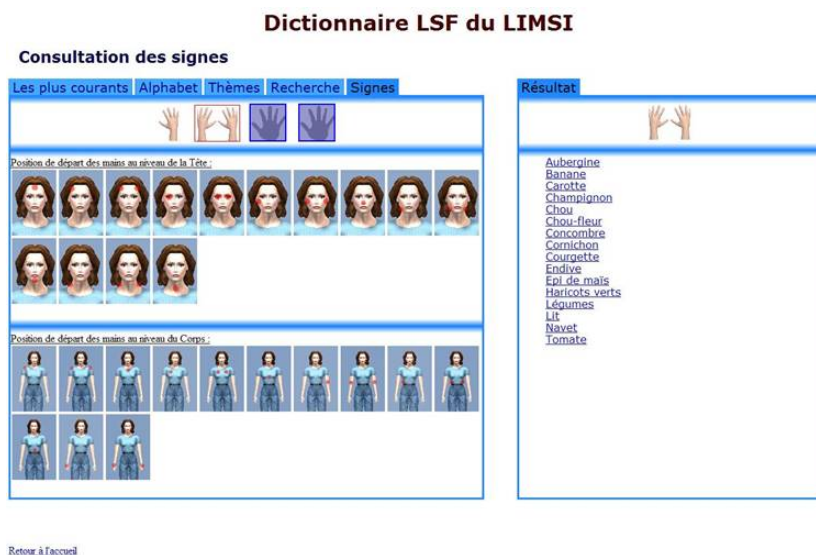


Figure 22. Description de [BALLON] avec le modèle géométrique

Avec des données paramétriques, une base de données n'offre que des requêtes sur des valeurs ou des listes de valeurs spécifiques pour un paramètre. Les requêtes typiques ont pour but de connaître la liste des signes bimanuels, ou celle de ceux utilisant une certaine configuration, etc. Avec le modèle géométrique à contraintes, les requêtes deviennent plus riches. On peut désormais s'intéresser non seulement aux valeurs contenues dans les descriptions, mais aussi à la structure même de ces descriptions, en d'autres termes faire de la topologie des graphes associés l'objet des requêtes, pas seulement le contenu des nœuds des graphes.

Par exemple, il peut être intéressant de connaître la liste ou le nombre de signes dont la main dominante dépend de la main dominée, aussi directe ou indirecte que soit la dépendance. Rappelons-nous la notion de dépendance indirecte présentée en 3.2.2. Un objet A dépend transitivement de B s'il dépend de C et que C dépend de B. Autrement dit, A dépend indirectement de B s'il existe un chemin (une suite de sommets reliés par des arêtes) de B vers A, quelle que soit la longueur (nombre d'arêtes) de ce chemin. Ainsi, tout graphe contenant un chemin partant d'un élément spécifiant la main dominée à un autre spécifiant la main dominante fera partie du résultat de la précédente requête. Le signe [BUREAU] convient (voir le chemin étiqueté « * » sur la figure 21), au contraire de [BALLON] dont le chemin va dans le sens inverse de celui recherché (figure 18). L'interprétation de ceci serait que certains signes comme [BALLON] ont une main dominée qui suit la main dominante (ici, par symétrie), tandis que d'autres comme [BUREAU] ont besoin d'une référence à un aspect de la main dominée pour spécifier la main dominante.

Les requêtes deviennent plus modulables et plus spécifiques, ce qui affine les recherches et l'extraction de signes de la base et améliore les analyses. Grouper ensuite les descriptions au regard des résultats de ces requêtes affinées ouvre de nouvelles perspectives, par exemple en typologie des signes ou des langues des signes, s'il l'on compare les résultats en considérant plusieurs LS à requêtes égales.

Une possibilité est de regrouper les descriptions en fonction de leurs dépendances externes, par exemple, ou de leurs éléments essentiels (§ 4.2). Si l'on procède à cela sur un dictionnaire entier de signes, et qu'on obtient des groupes nettement distincts au lieu d'une répartition homogène sur toutes les dépendances possibles, on peut supposer une raison sémantique aux groupes obtenus. Cette méthode est efficace pour confronter à des résultats statistiques l'intuition selon laquelle la manière dont un signe s'adapte au contexte (cf. ses dépendances externes) dépend de sa sémantique.

Voici d'autres questions qu'il serait possible de traduire en requêtes pour une base de données du type de celles décrites dans cette section, ainsi que quelques réponses prises dans les exemples ci-avant :

- la proportion de signes présentant une dépendance des deux mains sur un même objet, comme [IMMEUBLE] ou [BALLON] ;
- quels signes ont une orientation indéterminée ou sous-déterminée pour une des mains, comme [GARÇON] ;
- quels signes n'ont aucune dépendance externe, comme [GARÇON] ;
- si plus de signes dépendent (en contexte) d'une taille que d'une forme ;
- quels signes ne peuvent pas être relocalisés ;
- etc.

5. Conclusion et perspectives

Nous avons présenté une nouvelle approche pour la description des unités lexicales des langues des signes. Plutôt que de renseigner une simple liste de paramètres du signe, on construit librement les objets nécessaires, que l'on contraint comme il faut, rendant visibles les dépendances entre les éléments de la description. Nous avons montré comment la structure du modèle était représentable graphiquement et analysable grâce à la théorie des graphes, ainsi que les perspectives engendrées pour le domaine des dictionnaires informatisés. L'entrée d'un premier corpus de 2 000 signes dans notre dictionnaire est planifiée cette année. Elle sera l'occasion d'évaluer le temps nécessaire à un tel travail.

Une bonne évaluation du modèle géométrique à contraintes présenté dans cet article sera son intégration à la plateforme de génération automatique d'énoncés par des personnages tridimensionnels animés (signeurs virtuels) actuellement aussi en développement au Limsi (Bolot, 2006). Il conviendra alors d'estimer l'acceptabilité,

au sens linguistique, des signes générés. Aussi nous intéresserons-nous tout particulièrement à la précision des articulations du squelette du signe, la fluidité de ses mouvements et la qualité des transitions entre les productions. Un module de géométrie spatiale complet est déjà disponible ; le travail en cours est l'élaboration de l'interpréteur de description, nécessaire pour traduire les descriptions en commandes articulatoires visant le squelette.

En plus des différentes perspectives déjà avancées ici, nous voudrions en apporter une autre dont le terme est un peu plus éloigné. Le projet LS-Script (Garcia, 2006) dont l'objectif est l'élaboration d'une écriture de la LSF s'intéresse entre autres aux aspects géométriques des signes, qui ont une place primordiale dans notre modèle : tout objet (à l'exception des parties du corps) est une donnée soit numérique soit géométrique. Par ailleurs, dans le but que le système permette également la prise de notes en situation pédagogique d'apprentissage en langue des signes, les études s'attachent à déterminer ce qui est « essentiel » à un signe plutôt que ce qui pourrait être qualifié de « périphérique » pour gagner en concision et en vitesse. Cette recherche constitue un jeu de requêtes à la base de données comme illustré en section précédente. Ce modèle se montre donc un candidat idéal pour nourrir les réflexions sur les possibles formes écrites des langue des signes.

6. Bibliographie

- Bolot L., Braffort A. & Filhol M., « ELSI balbutie ! Vers une plateforme d'animation d'avatar signant », *Workshop sur les Agents Conversationnels Animés (WACA)*, 2006, Toulouse, France, 2006.
- Braffort A., Reconnaissance et compréhension de gestes – Application à la langue des signes, Thèse de doctorat, Université Paris 11, Orsay, 1996.
- Cuxac C., « La Langue des Signes Française (LSF) – Les voies de l'iconicité », *Faits de Langues*, vol. 15-16, Ophrys, 2000.
- Cuxac C., « Phonétique de la LSF : une formalisation problématique », *La linguistique de la LSF : recherche actuelles, Silexicales*, vol. 4, France, 2004.
- Da Rocha Costa A. & Pereira Dimuro G., « SignWriting and SWML – paving the way to sign language processing », *Atelier Traitement Automatique des Langues des Signes, TALN 2003*, France, 2003.
- Elliott R., Glauert J., Jennings V. & Kennaway, J., « SiGML notation and SiGML signing software system », *Workshop on the representation and processing of Sign Languages, LREC 2004*, Portugal, 2004.
- Filhol M., « A sequential approach to lexical sign description », *Workshop on the representation and processing of Sign Languages, LREC 2006*, Genova, Italy, 2006.
- Garcia B., « The methodological, linguistic and semiological bases for the elaboration of a written form of LSF », *Workshop on the representation and processing of Sign Languages, LREC 2006*, Genova, Italy, 2006.

- Hanke T. et al, ViSiCAST deliverable D5-1: interface definitions, ViSiCAST project report, 2002, <http://www.visicast.co.uk>
- Huenerfauth M., Generating American Sign Language Classifier Predicates For English-To-ASL Machine Translation. Doctoral dissertation, University of Pennsylvania, 2006.
- Kennaway R., Synthetic Animation of Deaf Signing Gestures. *Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction*, LNCS/LNAI vol 2298, Springer, 2001.
- Kennaway R., Experience with and Requirements for a Gesture Description Language for Synthetic Animation. *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*, LNCS/LNAI vol 2915, Springer, 2004.
- Kervajan L., Guimier De Neef E. & Véronis J., « French Sign Language processing: verb agreement », *Gesture in Human-Computer Interaction and simulation*, LNCS LNAI 3881, Springer, 2006.
- Lebourque T., Spécification et génération de gestes naturels. Application à la Langue des Signes Française. Thèse de doctorat, Université Paris 11, 1998.
- Liddell S. K. & Johnson R. E., « American Sign Language: the phonological base », *Sign Language Studies*, vol. 64, Gallaudet University Press, 1989.
- Losson O., Modélisation du geste communicatif et réalisation d'un signeur virtuel de phrases en Langue des Signes Française. Thèse de doctorat, Université Lille 1, 2000.
- Moody B., *La langue des signes – dictionnaire bilingue élémentaire*, Tomes 1 et 2. IVT Paris, 1997.
- Prillwitz S. et al, « HamNoSys version 2.0; Hamburg Notation System for Sign Languages, an introductory guide », *International studies on Sign Language and communication of the Deaf; vol 5*, Signum, Hamburg, 1989.
- Stokoe W., « Sign language structure: an outline of the visual communication systems of the American deaf », *Studies in linguistics: Occasional papers, vol 8*, dept. of Anthropology and Linguistics, University of Buffalo, 1960.
- Stokoe W., Casterline C. & Croneberg C., *A dictionary of American Sign Language on linguistic principles*, Silver Spring, MD : Linstok Press, 1976.
- Sutton V., *Lessons in SignWriting: textbook and workbook*, La Jolla, CA: The Deaf Action Committee for SignWriting and the Center for Sutton Movement Writing, Inc, 1995.