

Extension d’AZee avec des règles de production concernant les gestes non-manuels pour la langue des signes française

Camille Challant, Michael Filhol

Université Paris-Saclay, CNRS, Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du Numérique, 91400, Orsay, France

camille.challant@lisn.upsaclay.fr, michael.filhol@cnrs.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente une étude sur les gestes non-manuels (GNM) en utilisant AZee, une approche qui permet de représenter formellement des discours en langue des signes (LS) et de les animer avec un signeur virtuel. Les GNM étant essentiels en LS et donc nécessaires à une synthèse de qualité, notre objectif est d’augmenter l’ensemble de règles de production AZee avec des règles concernant les GNM. Pour cela, nous avons appliqué la méthodologie permettant de trouver de nouvelles règles de production sur un corpus de langue des signes française, *40 brèves*. 23 règles concernant les GNM ont été identifiées. Nous avons profité de cette étude pour insérer ces règles dans le premier corpus d’expressions AZee, qui décrivent avec AZee les productions en LS du corpus *40 brèves*. Notre étude donne lieu à une nouvelle version du corpus d’expressions AZee, qui comporte 533 occurrences de règles relatives aux GNM.

ABSTRACT

Extending AZee with Non-manual Gesture Rules for French Sign Language

This paper presents a study on non-manual gestures using AZee, an approach which allows to formally represent Sign Language (SL) discourses and to animate them with a virtual signer. As the non-manual gestures are essential in SL and therefore necessary for a quality synthesis, we wanted to extend the AZee production set with non-manual production rules. For this purpose, we applied the methodology which allows to find new production rules on a French Sign Language corpus, *40 brèves*. We identified 23 production rules for non-manual gestures. We took advantage of this study to insert these new rules in the first corpus of AZee discourses expressions, which describe with AZee the productions in SL of the *40 brèves* corpus. Our study results in a new version of the AZee expressions corpus, which includes 533 occurrences of non-manual rules.

MOTS-CLÉS : Modélisation, Langue des signes, AZee, Gestes non-manuels.

KEYWORDS: Modelling, Sign Language, AZee, Non-manual gestures.

1 Introduction

Aujourd’hui encore, les langues des signes (LS) sont considérées comme des langues peu dotées. L’outillage informatique de ces langues est plus complexe que pour les langues vocales, principalement parce qu’il est nécessaire de travailler avec des vidéos, les LS ne possédant pas de système d’écriture officiellement reconnu et adopté par la communauté Sourde. Cela explique également, en partie,

pourquoi les LS sont considérablement moins décrites que les langues vocales.

De plus, en LS, les gestes non-manuels (désormais GNM), c'est-à-dire l'activité de toutes les parties du corps excepté les mains (comme les mouvements des yeux, des épaules, de la tête, etc.) sont relativement peu étudiés. Bien que la plupart des études reconnaisse leur importance, l'accent est encore souvent placé sur l'activité des mains uniquement. Les GNM font pourtant entièrement partie de la langue et permettent de transmettre des informations au même titre que ce qui est signé avec les mains. Les travaux sur les GNM sont donc cruciaux, notamment pour la synthèse avec des signeurs virtuels : il a été prouvé que les expressions faciales aident considérablement les personnes Sourdes à comprendre les avatars signants (Huenerfauth *et al.*, 2011). Malgré cela, les avatars actuels animés à partir de règles¹ ne sont pas encore assez performants dans ce domaine, car les GNM ne sont pas ou peu décrits. Un aperçu de ce problème a été présenté par Wolfe & McDonald (2021).

Par ailleurs, peu de travaux en linguistique synthétisent les différents GNM que l'on peut rencontrer dans un discours en LS. Les articulateurs (parties du corps impliquées dans la production d'un discours) sont plutôt étudiés séparément, comme la bouche (Lewin & Schembri, 2011), les sourcils (de Vos *et al.*, 2009) ou encore la tête (Pfau, 2008). Les GNM sont également souvent liés à un phénomène grammatical précis (Pfau & Quer, 2010 ; Benitez-Quiroz *et al.*, 2014 ; Kimmelman *et al.*, 2020).

Afin de perfectionner les GNM des avatars pour un rendu plus naturel et compréhensible, et puisque les GNM ne sont pas encore décrits avec une approche formelle qui permettrait d'améliorer cela, nous avons choisi de travailler avec AZee, le seul modèle formel permettant la synthèse avec les avatars. Le sujet des GNM avec AZee a commencé à être abordé dans les premiers temps d'AZee (Filhol *et al.*, 2014). Depuis, quelques règles de production concernant les GNM (que nous nommerons dorénavant RGNM) ont été suggérées : on peut par exemple mentionner *inter-subjectivity*, *intensity* ou *long* qui produisent différentes expressions faciales. Cependant, aucune recherche approfondie n'a été menée sur ce sujet. L'objectif de notre étude est donc identifier de nouvelles RGNM et les ajouter au premier corpus d'expressions AZee (Challant & Filhol, 2022).

Pour cela, nous devons suivre la méthodologie permettant de trouver de nouvelles règles de production, que nous présentons dans la première section, après avoir exposé l'approche AZee. Dans la section 3, nous montrons l'application de cette méthodologie sur un corpus de langue des signes française (LSF), appelé *40 brèves*. Puis, nous présentons dans la section 4 l'ensemble des RGNM que nous avons identifiées grâce à la méthodologie, règles qui ont ensuite été insérées dans un corpus d'expressions AZee de discours. Enfin, nous exposons nos conclusions et perspectives pour ce travail dans la dernière section.

2 AZee

2.1 Présentation de l'approche

AZee est une approche formelle qui permet de décrire des discours en LS (Filhol, 2021 ; Filhol *et al.*, 2014). En premier lieu, c'est un langage fonctionnel qui permet de décrire précisément les mouvements du signeur afin d'animer des avatars, grâce à des points de l'espace de signation, des

1. Contrairement aux avatars animés par capture de mouvement qui peuvent aujourd'hui être très réalistes (Kim *et al.*, 2023).

postures, des contraintes, des vecteurs, etc.

À un niveau supérieur, linguistique, AZee associe un sens aux formes décrites avec le langage de description mentionné ci-dessus. Cela crée ce que l'on appelle une *règle de production* : une fonction qui représente un sens interprétable et qui produit un ensemble de formes observables. L'ensemble de toutes les règles de production identifiées pour une LS spécifique (dans notre cas, la LSF) forme l'*ensemble de production AZee*. Nous pouvons combiner les différentes règles de l'ensemble de production pour créer des *expressions AZee de discours*, qui représentent formellement des discours de n'importe quelle longueur en LS.

```
1 :info-about
2   'topic
3   :organiser
4   'info
5   :side-info
6     'focus
7     :élection
8     'info
9     :président
```

FIGURE 1 – Expression AZee de discours signifiant « l'organisation des élections présidentielles »

Nous donnons un exemple d'expression AZee de discours dans la figure 1, qui est la combinaison de plusieurs règles de production :

- deux règles avec deux arguments obligatoires :
 - 1.1 *info-about(topic, info)* signifiant 'une *info*, qui porte le focus, est donnée à propos de *topic*'
 - 1.5 *side-info(focus, info)* signifiant 'une *info* supplémentaire, non essentielle, est donnée à propos de *focus*'
- trois règles sans argument obligatoire, nommées d'après leur signification :
 - 1.3 organiser
 - 1.7 élection
 - 1.9 président

Cette expression AZee signifie « l'organisation des élections présidentielles » en LSF et génère les formes associées. Il s'agit d'un court extrait de la brève 1E-VF, issue du corpus que nous présentons dans la section 3.1.

2.2 Méthodologie

Une méthodologie a été développée pour identifier les règles de production, basée sur l'étude manuelle de corpus de LS (Hadjadj *et al.*, 2018 ; Martinod *et al.*, 2022). Elle consiste à rechercher, alternativement, des critères de forme (e.g. 'avancement du menton' ; 'déplacement de l'index entre la droite et la gauche') et des critères de sens (e.g. 'notion de multiplicité' ; 'négation de quelque chose') jusqu'à trouver un ensemble de formes unique pour un sens donné.

La méthodologie en question commence par un critère de forme ou de sens que l'on choisit d'étudier. La figure 2 illustre cela, en partant de s_1 , un critère de sens. La première étape consiste à rechercher

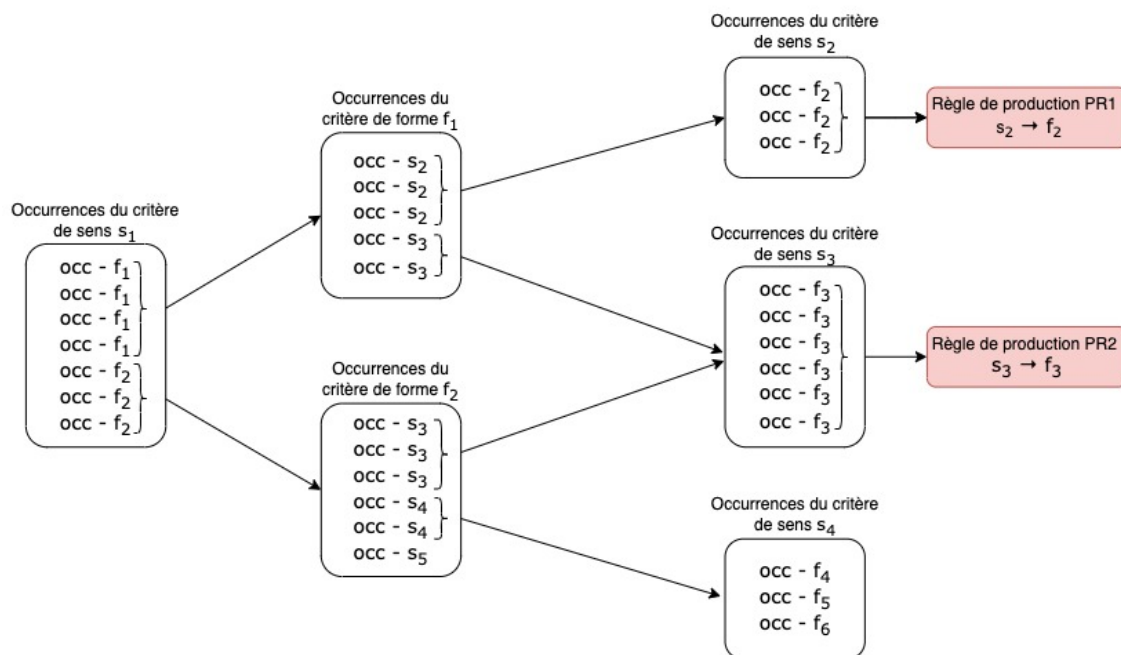


FIGURE 2 – Illustration de la méthodologie AZee, initié avec un critère de sens s_1

toutes les occurrences de s_1 dans le corpus, et à décrire, pour chaque occurrence, un ensemble de formes associées à s_1 . Différents groupes de formes identiques sont alors constitués : par exemple f_1 , f_2 dans la figure 2.

Chacun de ces groupes devient le critère de départ d'une nouvelle itération. Pour ces nouvelles itérations, l'objectif est maintenant de décrire la signification associée aux occurrences répertoriées. Pour f_1 dans la figure 2, nous trouvons s_2 , s_3 , et s_4 , s_5 pour f_2 .

Le processus se poursuit ensuite, jusqu'à ce qu'un seul ensemble de formes soit trouvé pour toutes les occurrences d'un sens. Par exemple, on trouve f_2 pour les occurrences du sens s_2 (figure 2, en haut à droite). Pour ce critère s_2 , les formes f_2 correspondent aux formes trouvées lors de la première itération : c'est un cas qui peut se produire. Une nouvelle règle de production PR1 associant s_2 à f_2 peut être créée.

Parfois, au cours du processus, des fusions peuvent apparaître. Par exemple, le même sens s_3 est trouvé en recherchant des occurrences de f_1 et f_2 , deux critères de forme différents. Une nouvelle itération est alors réalisée avec s_3 comme critère de sens, et un nouvel ensemble de formes f_3 est identifié : une nouvelle règle de production peut être créée, PR2.

3 Application de la méthodologie sur un corpus

3.1 Sélection du corpus

Nous avons décidé de travailler avec le corpus *40 brèves*, dont la deuxième version a été publiée en 2022 par [Challant & Filhol](#).

Il s'agit d'un corpus parallèle qui aligne :

- 40 brèves journalistiques en français écrit ;
- 120 vidéos en LSF : chacune des 40 brèves a été traduite par trois traducteurs professionnels sourds, ce qui représente une heure de LSF au total ;
- 120 expressions AZee de discours, représentant formellement les 120 vidéos de LSF avec AZee, sans GNM dans la version de 2022.

Le genre journalistique est intéressant car il permet de couvrir un large éventail de sujets, tout en utilisant un style de langue quasi canonique, sans erreurs ou disfluences. Il garantit également une certaine neutralité : les GNM réalisés par les signeurs sont susceptibles de constituer un contenu pertinent au niveau sémantique, et non de donner l'opinion du signeur à propos d'un sujet, ce qui pourrait être le cas avec d'autres genres de discours.

De plus, ce corpus comprend plusieurs signeurs, ce qui est un réel avantage pour la recherche de nouvelles règles de production. Cela nous permet de nous assurer qu'une règle n'est pas spécifique à un signeur en particulier.

3.2 Application de la méthodologie

Nous avons appliqué la méthodologie présentée dans la section 2.2 sur le corpus. Deux personnes, locutrices de la LSF, ont été impliquées dans le processus, pour un total approximatif de 200 heures de travail.

Le critère de départ choisi est un critère de forme : 'GNM, produits simultanément avec l'activité des mains'. Nous nous sommes intéressés aux expressions faciales mais pas seulement : nous avons également pris en compte les mouvements du menton, de la poitrine ou même des épaules.

Nous avons utilisé un logiciel qui permet de visionner les différentes vidéos image par image ou au ralenti pour pouvoir observer les mouvements des signeurs en détail, mais aussi à vitesse réelle pour comprendre le rythme du discours et mieux en saisir le sens.

Lors de l'application de la méthodologie, il a été très difficile de décrire précisément l'ensemble des formes observées avec des mots car les différences de formes sont parfois très subtiles. Si nous prenons l'exemple des sourcils, ils peuvent avoir une multitude de positions, et pas seulement : sourcils froncés - sourcils neutres - sourcils levés. Les différentes positions étant vraiment complexes à décrire, nous avons principalement utilisé des captures d'écran des vidéos pour nous aider dans notre démarche. En terme de sens, le défi est de ne pas se laisser influencer par ce qui est signé avec les mains.

Au cours du processus d'itération, certains groupes ont fusionné, comme l'explique la figure 2 avec le critère de sens s_3 qui se trouve dans deux groupes différents de formes f_1 et f_2 et qui fusionne en un seul groupe, avec l'ensemble de formes f_3 . Par exemple, nous avons identifié pour deux sens différents, à savoir 'concentration' et 'interrogation', le même ensemble de formes 'le menton avance, les sourcils sont froncés et les lèvres sont pincées'. Nous avons ensuite trouvé un dénominateur de sens commun pour les deux significations, et une règle de production appelée `closer-look` a été déterminée.

Après avoir appliqué la méthodologie, nous avons fait plusieurs choix concernant l'inclusion des règles de production dans notre ensemble de production AZee.



FIGURE 3 – Illustration des formes de trois RGNM

Premièrement, nous avons décidé de considérer une règle de production comme autonome uniquement si l'on observe que les GNM apportent un sens différent de celui qui est signé avec les mains. Dans le cas contraire, nous avons considéré que la RGNM faisait partie intégrante du signe. En effet, l'association forme-sens est au cœur de l'approche AZee, quels que soient les articulateurs impliqués dans l'ensemble des formes. Il n'y a donc pas de raison théorique de séparer en deux règles de production différentes ce qui est signé par les mains et ce qui est signé par les articulateurs non-manuels, s'ils construisent ensemble le même sens. Par exemple, lors de l'application de la méthodologie, nous avons remarqué une expression faciale qui véhicule le sens 'suspicieusement'. Cette expression faciale apparaît uniquement sur l'activité des mains signifiant 'suspicion', et vice-versa : 'suspicion' n'apparaît jamais sans cette mimique. Nous avons donc considéré que l'expression faciale *suspicieusement* est incluse dans la règle *suspicion*, sans créer une nouvelle règle de production *suspicieusement*. Le même phénomène s'est produit pour *approximativement*, qui a toujours été observé avec la même expression faciale.

Ensuite, alors que la majorité des RGNM que nous avons identifiées a été observée avec les trois signeurs du corpus (ce qui contribue à nous donner confiance dans la robustesse des règles), nous avons réalisé que certaines règles n'apparaissent que dans les productions de l'un des trois signeurs. Le sens étant par ailleurs assez difficile à interpréter, nous avons décidé de ne pas prendre en compte ce type de GNM. C'était le cas des sourcils levés et des yeux écarquillés produits par le signeur OC. Nous avons associé ce phénomène davantage au style du signeur qu'au contenu linguistique, et nous n'avons donc pas ajouté la règle de production à l'ensemble de production.

Enfin, nous n'avons parfois qu'une ou deux occurrences d'une règle de production dans l'ensemble du corpus, avec des formes et un sens difficiles à saisir. Puisque nous ne pouvions pas les comparer avec un grand nombre d'occurrences afin d'affiner leurs formes et leur sens, nous avons préféré ne pas inclure ces règles dans notre ensemble de production. C'est le cas de certaines règles ayant le sens de 'sans doute', 'difficile à croire' ou 'affecté'.

4 Résultats

Nous avons identifié 23 RGNM dans le corpus. Elles ont toutes un seul argument, appelé *sig*.

Chaque règle de production est nommée en anglais, d'après sa signification. Des captures d'écran

illustrent les formes des trois premières règles dans la figure 3, mais une simple photo ne suffit pas à capturer l'ensemble du mouvement et à obtenir les formes exactes des règles. Pour y remédier, nous donnons entre parenthèses un exemple de chaque règle dans son contexte. Nous indiquons l'identifiant de la vidéo dans laquelle se trouve l'exemple (par exemple : 1A-JP), suivi des bornes temporelles permettant de situer l'exemple dans la vidéo en secondes et de la ligne correspondante dans l'expression AZee.

Voici la liste des 23 RGNM :

- | | |
|--|---|
| — almost-reaching
(2H-OC, temps : 26.56–27.00, ligne 215) | — peacefully
(1R-JP, temps : 14.36–15.48, ligne 127) |
| — big-threatening
(2R-VF, temps : 01.44–02.12, ligne 18) | — something-sticks-out
(2O-JP, temps : 29.24–29.08, ligne 191) |
| — closer-look
(2J-VF, temps : 29.52–31.00, ligne 222) | — takes-a-while
(2R-OC, temps : 23.92–24.84, ligne 256) |
| — continuously
(2K-OC, temps : 18.32–18.84, ligne 155) | — too-scared-to-look
(1O-VF, temps : 17.00–17.72, ligne 43) |
| — decidedly
(1K-JP, temps : 32.24–33.08, ligne 237) | — trouble-disturbance
(2Q-JP, temps : 29.12–30.28, ligne 252) |
| — do-you-realise
(2Q-JP, temps : 32.28–33.44, ligne 274) | — uneasy-awkward
(1C-JP, temps : 25.36–26.04, ligne 250) |
| — impressive-grandiose
(1J-JP, temps : 10.96–11.92, ligne 93) | — with-chaos
(1F-OC, temps : 09.44–10.28, ligne 97) |
| — inter-subjectivity
(1B-OC, temps : 22.24–23.08, ligne 175) | — with-no-precision
(2C-VF, temps : 05.24–06.16, ligne 39) |
| — it-is-a-shame
(2H-JP, temps : 32.36–33.72, ligne 279) | — with-surprise
(1E-JP, temps : 29.28–30.28, ligne 240) |
| — most-probably
(1R-JP, temps : 15.08–16.88, ligne 137) | — with-uncertainty
(2R-VF, temps : 25.88–26.56, ligne 243) |
| — much-almost-too-much
(1A-JP, temps : 06.28–08.52, ligne 37) | — with-worry
(1B-VF, temps : 20.48–22.02, ligne 175) |
| — nothing-sticks-out
(2D-JP, temps : 09.04–10.08, ligne 67) | |

Dès lors que cet ensemble de règles a été établi, nous avons pu compléter le corpus *40 brèves* en appliquant ces nouvelles règles de production. La nouvelle version du corpus (v3) est mise à disposition de la communauté scientifique sur la plateforme Ortolang². Au total, 533 occurrences de RGNM figurent désormais dans le corpus. La figure 4 présente la fréquence des différentes règles de production dans le corpus : chaque règle apparaît entre 2 et 89 fois.

Dans la figure 4, nous pouvons voir que les RGNM les plus fréquentes sont *decidedly*, *trouble-disturbance*, *closer-look*, *uneasy-awkward*. Cela s'explique notamment par le fait que les nouvelles journalistiques de ce corpus relatent des évènements assez graves : prise d'otage, catastrophe naturelle, rébellion contre le pouvoir, etc.

2. Le corpus est disponible à cette adresse : <https://www.ortolang.fr/market/corpora/40-brevues>

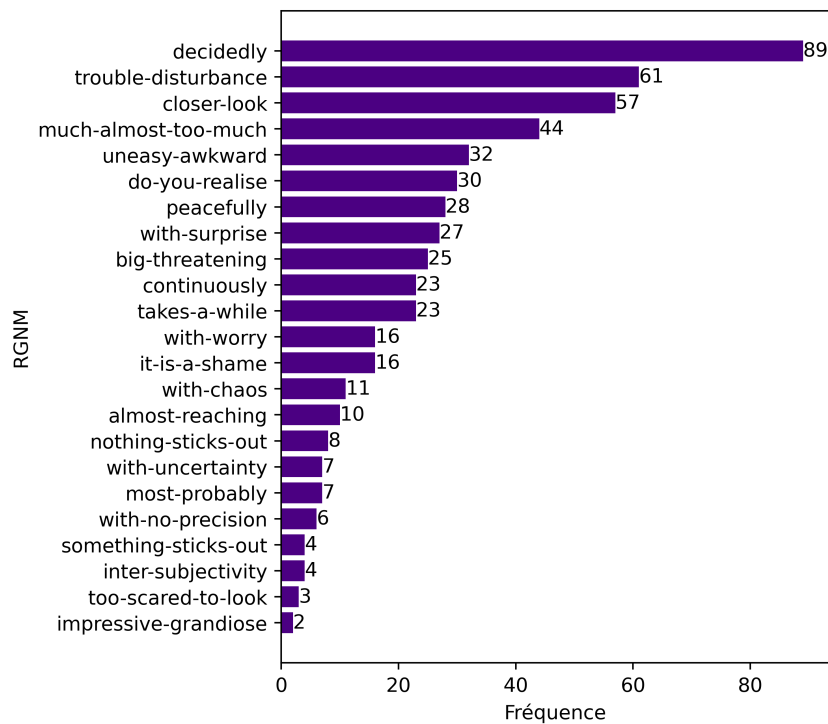


FIGURE 4 – Fréquence des RGNM dans le corpus

Par ailleurs, nous avons remarqué quelques utilisations intéressantes des RGNM, nous détaillons certains cas ci-dessous.

Tout d’abord, nous voulons souligner que les règles présentes dans le corpus ont une réelle contribution sémantique : elles sont nécessaires pour comprendre le message complet du discours. Par exemple, comme l’illustre la figure 5 avec un extrait de la brève 2H-JP, le sens de la règle de production `info-about` avec deux arguments non tête et `il n’y a pas` est complètement différent lorsqu’elle est incluse dans la RGNM `it-is-a-shame`. Le signeur parle ici de l’absence d’une nouvelle étoile sur les maillots des joueurs de football français, après une défaite contre l’Italie, ce qui est dommage pour l’équipe de France.

```
:it-is-a-shame
  'sig
  :info-about
    'topic
    :non tête
    'info
    :il n'y a pas
```

FIGURE 5 – Expression AZee de discours avec une RGNM qui contribue au sens du discours

Nous avons également remarqué que les RGNM peuvent parfois être combinées entre elles : le sens et les formes de chaque règle peuvent être additionnés, comme le montre la figure 6. Par exemple, dans la brève 1N-JP, `decidedly` et `with-chaos` sont combinés sur le signe ‘attaquer’.


```

:decidedly
  'sig
  :with-chaos
    'sig
    :attaquer
      'patient
      ^Lssp

```

FIGURE 6 – Expressions AZee de discours avec des RGNM qui sont combinées

Les RGNM sont également employées dans des constructions élaborées, comme dans la brève 2L-OC (Figure 7). En effet, dans la règle *not-but* ci-dessous, qui présente déjà un contraste entre deux parties, les RGNM sont utilisées pour renforcer ce contraste, avec des règles qui insistent sur le sens de chaque partie : *much-almost-too-much* sur ‘ventes’ qui est nié, suivi de la correction avec *trouble-disturbance* sur ‘ventes peu rentables’, ce qui signifie que les ventes n’ont pas été à la hauteur des espérances.

```

:not-but
  'negated
  :much-almost-too-much
    'sig
    [ventes]
  'correction
  :trouble-disturbance
    'sig
    [ventes peu rentables]

```

FIGURE 7 – Expression AZee de discours avec des RGNM en contraste

Pour finir, la nouvelle version du corpus d’expressions AZee, dans laquelle nous avons ajouté les RGNM, comprend 12 442 règles de production nommées au total, soit 982 de plus que dans la version précédente. Pour calculer la fréquence des règles de production dans le corpus, nous avons utilisé toutes les règles de production ayant au moins un argument obligatoire. Comme le montre la figure 8, les règles les plus fréquentes sont les mêmes que dans la version précédente (voir [Challant & Filhol \(2022\)](#)) : *info-about*, *side-info*, *instance-of...* Néanmoins, cinq nouvelles règles figurent dans le top 20 : *decidedly*, *trouble-disturbance*, *closer-look*, ainsi que *mult-around* et *mult-in-a-row*, deux règles ayant été identifiées par [Martinod *et al.*](#) après la publication de la première version du corpus.

5 Conclusion et perspectives

Cet article présente l’étude que nous avons menée sur un phénomène qui n’avait encore jamais été étudié à l’aide de l’approche AZee, c’est-à-dire les GNM. Nous avons présenté la méthodologie qui permet de trouver de nouvelles règles de production AZee, que nous avons ensuite appliquée sur le

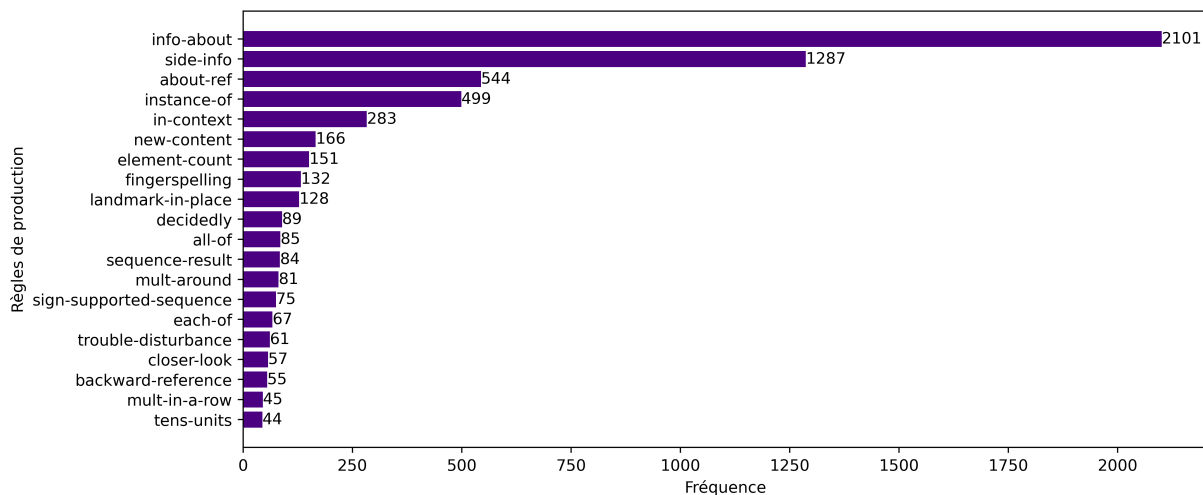


FIGURE 8 – Fréquence des 20 règles de production les plus utilisées dans le corpus

corpus *40 brèves*. 23 règles de production ont été identifiées, ce qui a permis d’augmenter l’ensemble des règles de production AZee actuellement connues pour la LSF. Enfin, nous avons complété le premier corpus d’expressions AZee existant en insérant ces règles là où elles étaient nécessaires, et nous avons rendu cette nouvelle version disponible.

Pour pouvoir proposer une évaluation des RGNM que nous avons identifiées, nous pouvons les animer sur des signeurs virtuels. Puisque chaque règle de production spécifie à la fois les formes à produire et leur synchronisation relative, les expressions AZee peuvent être directement animées sur un avatar, RGNM incluses. Ceci semble maintenant à portée de main grâce aux efforts récents, par exemple le logiciel d’expressions faciales créé par McDonald *et al.* (2022) ou la synthèse à l’aide de Blender (Sharma *et al.*, 2024). Cela constitue une première perspective pour notre travail.

Ensuite, nous avons travaillé sur un petit corpus et avec un genre particulier, il est donc probable que d’autres RGNM existent, qui n’étaient pas présentes dans notre corpus. Nous aimerions étudier d’autres types de corpus, afin de couvrir au mieux la LSF avec des RGNM et d’effectuer des comparaisons entre les genres. Par exemple, nous pourrions étudier des corpus comportant des structures plus iconiques, comme les descriptions de scènes (e.g. *Mocap1* (Benchiheub *et al.*, 2016)) ou la narration d’une histoire (*LS-COLIN* (Cuxac *et al.*, 2014)).

Enfin, ce travail sur les GNM peut être analysé du point de vue de la linguistique formelle. Différents tests pourront être effectués sur la nouvelle version, et des questions peuvent être soulevées telles que : existe-t-il des motifs réguliers pour les RGNM ou leur contexte ? Est-il possible d’avoir de très grandes expressions sous ces règles ? Ou bien ont-elles tendance à contenir des productions plus courtes ?

Références

BENCHIHEUB M.-E.-F., BERRET B. & BRAFFORT A. (2016). Collecting and Analysing a Motion-Capture Corpus of French Sign Language. In *7th International Conference on Language Resources and Evaluation - Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages (LREC-WRPSL*

2016), p. 7–12, May 23–28, Portoroz, Slovenia : Laboratoire d’informatique pour la mécanique et les sciences de l’ingénieur - UPR 3251 (Limsi), Complexité, Innovation, Activités Motrices et Sportives - EA 4532 (CIAMS) (2020). ORTOLANG (Open Resources and TOols for LANGuage) –www.ortolang.fr, v1, <https://hdl.handle.net/11403/mocap1/v1>.

BENITEZ-QUIROZ C. F., GÖKGÖZ K., WILBUR R. B. & MARTINEZ A. M. (2014). Discriminant Features and Temporal Structure of Nonmanuals in American Sign Language. *PLoS ONE*, **9**(2), e86268. DOI : [10.1371/journal.pone.0086268](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086268).

CHALLANT C. & FILHOL M. (2022). A First Corpus of AZee Discourse Expressions. In *Proceedings of the Language Resources and Evaluation Conference (LREC)*, p. 1560–1565, Marseille, France.

CUXAC C., BOUTET D., DUBOIS C. & FIORE S. (2014). Corpus LS-Colin sur plusieurs genres discursifs (Christelle Drecours, Juliette Dalle et Stéphanie Authier). Structures formelles du langage ; Laboratoire d’Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l’Ingénieur ; Centre d’analyses et de mathématiques sociales ; Institut de recherche en informatique de Toulouse. DOI : [10.34847/COCOON.CD3EFAF4-BB76-38DC-AF8C-6A2C65AA4C78](https://doi.org/10.34847/COCOON.CD3EFAF4-BB76-38DC-AF8C-6A2C65AA4C78).

DE VOS C., VAN DER KOOIJ E. & CRASBORN O. (2009). Mixed Signals : Combining Linguistic and Affective Functions of Eyebrows in Questions in Sign Language of the Netherlands. *Language and Speech*, **52**(2–3), 315—339. DOI : [10.1177/0023830909103177](https://doi.org/10.1177/0023830909103177).

FILHOL M. (2021). *Modélisation, traitement automatique et outillage logiciel des langues des signes*. Habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Saclay. HAL : [tel-03197108](https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03197108).

FILHOL M., HADJADJ M. & CHOISIER A. (2014). Non-Manual Features : The Right to Indifference. In *International Conference on Language Resources and Evaluation*, Reykjavik, Iceland.

HADJADJ M., FILHOL M. & BRAFFORT A. (2018). Modeling French Sign Language : A proposal for a semantically compositional system. In *International Conference on Language Resources and Evaluation*, p. 7, Miyazaki, Japan : ELRA.

HUENERFAUTH M., LU P. & ROSENBERG A. (2011). Evaluating Importance of Facial Expression in American Sign Language and Pidgin Signed English Animations. In *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, p. 99–106, Dundee Scotland, UK : ACM. DOI : [10.1145/2049536.2049556](https://doi.org/10.1145/2049536.2049556).

KIM C., CHA H.-S., KIM J., KWAK H., LEE W. & IM C.-H. (2023). Facial Motion Capture System Based on Facial Electromyogram and Electrooculogram for Immersive Social Virtual Reality Applications. *Sensors*, **23**(7), 3580. DOI : [10.3390/s23073580](https://doi.org/10.3390/s23073580).

KIMMELMAN V., IMASHEV A., MUKUSHEV M. & SANDYGULOVA A. (2020). Eyebrow Position in Grammatical and Emotional Expressions in Kazakh-Russian Sign Language : A quantitative study. *PLOS ONE*, **15**(6). DOI : [10.1371/journal.pone.0233731](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233731).

LEWIN D. & SCHEMBRI A. C. (2011). Mouth gestures in British Sign Language : A case study of tongue protrusion in BSL narratives. *Sign Language and Linguistics*, **14**(1), 94–114. DOI : [10.1075/sll.14.1.06lew](https://doi.org/10.1075/sll.14.1.06lew).

MARTINOD E., DANET C. & FILHOL M. (2022). Two new AZee production rules refining multiplicity in French Sign Language. In *Proceedings of the LREC2022 10th Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages : Multilingual Sign Language Resources*, p. 132–138, Marseille, France : European Language Resources Association.

MCDONALD J., JOHNSON R. & WOLFE R. (2022). A Novel Approach to Managing Lower Face Complexity in Signing Avatars. In *Proceedings of the 7th International Workshop on Sign Language*

Translation and Avatar Technology : The Junction of the Visual and the Textual : Challenges and Perspectives, p. 67–72, Marseille, France : European Language Resources Association.

PFAU R. (2008). The Grammar of Headshake : A Typological Perspective on German Sign Language Negation. *Linguistics in Amsterdam*, **111**, 37–74.

PFAU R. & QUER J. (2010). *Nonmanuals : their Grammatical and Prosodic Roles*, In *Sign Languages, Cambridge Language Surveys*, p. 381–402. Cambridge University Press.

SHARMA P., CHALLANT C. & FILHOL M. (2024). Facial Expressions for Sign Language Synthesis using FACSHuman and AZee. In *Proceedings of the 11th Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages*, Torino, Italy.

WOLFE R. & MCDONALD J. C. (2021). A Survey of Facial Nonmanual Signals Portrayed by Avatar. *Graz University Library*, **Vol. 93**, 161–223. DOI : [10.25364/04.48:2021.93.6](https://doi.org/10.25364/04.48:2021.93.6).