

**Sujet de thèse : MALMOCAP-LS : MACHine Learning et MOTion CAPture pour l'analyse de la Langue des Signes**

***Modélisation et analyse statistique de données du mouvement pour la détection et la caractérisation de primitives, et la classification en langue des signes***

**Mots-clés** : Langue des Signes, Capture de Mouvement, Analyse de trajectoires cinématiques, Analyse de Données Fonctionnelles, Machine Learning, Deep Learning, Groupes de Lie, Classification.

Contact : nicolas.brunel@ensiie.fr

**Encadrants :**

Académique : Nicolas BRUNEL, Laboratoire de Mathématiques et Modélisation d'Evry (UMR CNRS 8071), ENSIIE, Evry.

Rémi BRUN, MOCAPLAB.

**La capture du mouvement au service de la langue des signes**

La thèse est une collaboration avec l'entreprise Mocaplab, st une des rares sociétés Européennes spécialisée en Motion Capture. Parmi ces nombreux champs d'exploration de la motion capture, se trouve le domaine très spécifique de la langue des signes. Les sourds communiquent entre eux en utilisant les mouvements du corps, des mains, des doigts, du visage et des yeux. Ils arrivent à une capacité d'expression aussi riche et structurée que celle offerte par la parole.

**Vers une représentation et une analyse adaptée du "signal mouvement"**

Après plus de 10 années de travail, Mocaplab a mis au point une solution, unique au niveau mondial, d'enregistrement fin de tout le signal de la langue des signes (corps, visage, doigts, yeux) permettant la création de corpus conséquents (plusieurs heures d'enregistrement). En s'inspirant des outils classiques développés pour étudier la parole, l'idée est alors d'utiliser les outils mathématiques actuels, notamment de statistiques et de machine learning, pour extraire de ces signaux "mouvements" acquis par motion capture, des "primitives" spécifiques à la nature de ces signaux étudiés. L'idée principale est d'imaginer des outils qui prennent en compte dans leur nature le fait qu'il s'agit de signaux de translation et rotation associés, régit par des contraintes physiques et neurologiques.

**L'objectif de cette thèse est d'identifier des primitives du mouvement des mains dans le contexte de la langue des signes, et de fournir des modèles et des outils de segmentation non-supervisée de séquence de langues de signes. Enfin, sur cette base, nous envisageons le développement de méthodes de classification (supervisée) de signaux de langue des signes.**

**Analyse de données fonctionnelles**

Dans le contexte de la langue des signes, Il s'agit donc d'identifier le bon cadre mathématique et les propriétés indispensables dans le "signal mouvement". Il s'agira d'identifier des primitives, descripteurs et autres "traits cinétiques" impliqués dans la langue des signes, permettant d'imaginer en prime des solutions de segmentation et de classification et de reconnaissance. Pour cela, nous proposons d'utiliser des techniques issues de l'analyse des

données fonctionnelles [Wang et al 2016]. Plus généralement, ces méthodes ont été étendues pour la modélisation de la variabilité et la prédiction de trajectoires multivariées, de formes, ou de trajectoires à valeurs dans des espaces éventuellement complexes. Dans le cas de courbes 1D, les problématiques classiques d'alignement, de variations en amplitude,...peuvent être définies de manière relativement univoques, mais lorsque l'on considère des courbes 3D, ces problèmes peuvent être appréhendés de différentes manières [Marron 2014]. Un axe d'analyse envisagé est d'exploiter le lien entre vitesse et géométrie des mouvements, qui a été identifié en théories du contrôle moteur.

Un point de départ de cette méthodologie consiste en l'estimation des trajectoires issus du motion capture et de la caractérisation de la géométrie et de la cinématique par des représentations fonctionnelles appropriées. Cette analyse simultanée est notamment possible dans la trajectoire d'une particule ponctuelle, en utilisant le cadre de Frénet-Serret et l'estimation du repère de Frénet [Brunel2014, Brunel2019, Park2019]. En premier point, nous proposons de développer des méthodes inférentielles permettant d'estimer le lien entre géométrie et vitesse curvilinéaire, à partir de données trajectoires mesurées par Motion Capture. Puis dans un deuxième temps d'étendre ces techniques inférentielles à l'analyse des trajectoires d'un solide.

### **Recherche de primitives**

A partir de ces estimateurs, nous souhaitons modéliser et décomposer la variabilité de ces trajectoires qui peuvent être à valeurs dans des groupes de Lie, tels que le Groupe Spécial Orthogonal ou le Groupe Spécial Euclidien. Ainsi l'exploitation de séquences annotées ou non de langues des signes et l'analyse de la diversité de ces mesures pourra permettre de traiter les différents points :

- explorer et estimer des modèles statistiques décrivant le lien entre vitesse curvilinéaire et trajectoire
- identifier les sources de variations les plus importantes dans la forme des trajectoires
- Identifier des principes d'invariance dans les mouvements de chaque main
- Modéliser les positions et vitesse relatives des deux mains dans le cas de la langue des signes.

### **Machine learning et Deep Learning**

Enfin, dans un objectif de classification supervisée, nous envisageons d'utiliser des réseaux de neurones et le Deep Learning pour modéliser les données temporelles de mouvement (ces modèles ont montré un grand succès dans la modélisation de données temporelles et complexes, e.g. réseaux récurrents, convolutifs, orientés graphes...), ou encore de données à valeurs dans des groupes de Lie, [Li, et al 2018]. Nous bénéficions notamment de la possibilité de générer de nouvelles données adaptées grâce l'accès au plateau de MOCAP (8 jours) pour le test et l'amélioration des modèles de deep learning.

### **Livrables attendus de la thèse**

- Articles scientifiques en mathématiques, en science du mouvement, en langue des signes décrivant de nouvelles méthodologies d'analyses du mouvement, ou participant à une meilleure compréhension de la langue des signes.
- Elaboration d'une librairie (python, R,...) permettant l'extraction de primitives, et de grandeurs caractéristiques d'un ensemble de signaux de motion capture.

- Mise au point et implémentation d'algorithme de segmentation automatique de séquence de langue des signes, dans des contextes contrôlés.

## Références

[Stockoe2005] Stockoe Jr, William C. "Sign language structure: An outline of the visual communication systems of the American deaf." *Journal of deaf studies and deaf education* 10.1 (2005): 3-37.

[Wang et al 2016] Wang, Jane-Ling, Jeng-Min Chiou, and Hans-Georg Müller. "Functional data analysis." *Annual Review of Statistics and Its Application* 3 (2016): 257-295.

[Marron 2014] Marron, J. S., et al. "Statistics of time warpings and phase variations." *Electronic Journal of Statistics* 8.2 (2014): 1697-1702.

[Srivastava 2016] Srivastava, Anuj, and Eric P. Klassen. *Functional and shape data analysis*. Vol. 475. New York: Springer, 2016.

[Hicheur2005] Hicheur, Halim, et al. "Velocity and curvature in human locomotion along complex curved paths: a comparison with hand movements." *Experimental brain research* 162.2 (2005): 145-154.

[Viviani1995] Viviani, Paolo, and Tamar Flash. "Minimum-jerk, two-thirds power law, and isochrony: converging approaches to movement planning." *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 21.1 (1995): 32.

[Flash2019] Flash, Tamar, et al. "Motor compositionality and timing: combined geometrical and optimization approaches." *Biomechanics of Anthropomorphic Systems*. Springer, Cham, 2019. 155-184.

[Brunel2014] Brunel, Nicolas J-B., and Juhyun Park. "Removing phase variability to extract a mean shape for juggling trajectories." *Electronic Journal of Statistics* 8.2 (2014): 1848-1855.

[Park2019] Park, Juhyun, and Nicolas JB Brunel. "Mean curvature and mean shape for multivariate functional data under Frenet-Serret framework." *arXiv preprint arXiv:1910.12049* (2019).

[Brunel2019] Brunel, Nicolas J-B., and Juhyun Park. "The Frenet-Serret framework for aligning geometric curves." *International Conference on Geometric Science of Information*. Springer, Cham, 2019.

[Li, et al 2018] Li, Fanzhang, Li Zhang, and Zhao Zhang. *Lie group machine learning*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2018.