

# Analyse de la variabilité motrice de l'humain lors de la réalisation d'une tâche de suivi de trajectoire dans le contexte de la robotique collaborative

**Mots-clefs :** Analyse du mouvement humain, capture de mouvement, biomécanique du membre supérieur, ergonomie.

## Contexte et Objectif

Dans un contexte industriel, le recours à un robot collaboratif est souvent envisagé pour réduire les sollicitations biomécaniques ou la répétitivité d'une tâche exécutée par des opérateurs [1]. Cependant, cette démarche soulève de nombreuses questions en lien avec la santé-sécurité au poste de travail. En particulier, la littérature scientifique et technique a quasiment occulté la question suivante : comment préserver la variabilité des mouvements (VM) des opérateurs ? En effet, cette VM est supposée avoir un effet bénéfique en termes de réduction de l'exposition des opérateurs aux facteurs de risques biomécaniques (réduction de la survenue de la fatigue, répartition des sollicitations biomécaniques sur le système locomoteur) [2, 3]. Mais cette VM risque d'être fortement réduite si le contrôle du robot collaboratif impose ou restreint les mouvements des opérateurs.

Pour acquérir des connaissances sur la VM d'un opérateur lors de la réalisation d'une tâche avec et sans interaction avec un robot collaboratif, l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), l'INRIA (Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique) et le LORIA (Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications) ont mis au point l'expérimentation MOVER (MOtor Variability Experiment with a Robot). Une campagne de mesures a exploité un système de guidage mécanique (sans robot), avec lequel plusieurs participants ont exécuté une tâche de type « wireloop » (suivi de trajectoire, Fig. 1).

Le stage proposé concerne l'**analyse des données de mouvement humain collectées** lors de cette campagne, et plus précisément l'**étude de la variabilité du mouvement du membre supérieur d'un opérateur**. Le cœur du stage consistera à dépouiller les données de mouvement brutes déjà collectées (étiquetage des marqueurs, correction des pertes et occultations), puis d'analyser la cinématique du mouvement (tests d'inférence et modélisation statistique de différents descripteurs articulaires) selon différents critères (sens de parcours du wireloop, cadence de la tâche, mise en évidence d'évolution temporelle selon la fatigue ou l'apprentissage, effet de l'âge, du genre, de l'anthropométrie des sujets, etc.).

Un objectif de la campagne MOVER est de comparer la variabilité du mouvement observée dans les données expérimentales à une variabilité théorique, qui dépend des limites cinématiques des individus. A cette fin, un second objectif du stage sera de développer un modèle cinématique du membre supérieur compatible à la fois avec les données expérimentales, et avec le formalisme utilisé pour le calcul de la variabilité théorique.

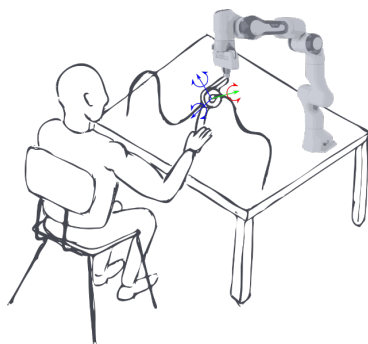


FIGURE 1 – Expérience MOVER. Gauche : Principe de l'expérience (suivi d'un wireloop) assisté par un système robotisé de guidage. Droite : Banc de mesure sans robot (wireloop lumineux, guidage mécanique).

## Missions

Afin de répondre à l'objectif du stage, le ou la stagiaire se verra confié(e) les missions suivantes :

- Conduire une étude bibliographique sur la variabilité des mouvements et les descripteurs biomécaniques permettant de la caractériser ;
- S'approprier le protocole expérimental MOVER et les outils de traitement des données brutes existantes (logiciel QTM, logiciel OpenSim, routines Python) ;
- Mettre en forme les données brutes de capture de mouvement (étiquetage des marqueurs, correction des pertes et occultations) dans le logiciel dédié (logiciel QTM, système Qualisys) ;
- A partir de ces données mises en forme, calculer les descripteurs de variabilité du mouvement déjà implémentés grâce aux routines Python et au logiciel OpenSim ; éventuellement, implémenter d'autres descripteurs complémentaires, selon le travail bibliographique.
- Conduire l'analyse statistique de ces descripteurs de variabilité du mouvement.
- S'approprier le formalisme utilisé pour modéliser le membre supérieur dans les outils de calcul de la variabilité motrice théorique développés dans le projet MOVER.
- Proposer une modélisation du membre supérieur qui permette d'extraire, à partir des données expérimentales, des grandeurs comparables à celles fournies par l'outil de calcul de la variabilité théorique, et mettre en place les routines de traitement correspondantes.

## Organisation

Le stage s'effectuera en collaboration entre l'INRS ([www.inrs.fr/](http://www.inrs.fr/)) et l'équipe LARSEN ([www.inria.fr/fr/larsen](http://www.inria.fr/fr/larsen)) du LORIA ([www.loria.fr/fr/](http://www.loria.fr/fr/)), tous deux situés à Nancy. Le stage sera co-encadré par :

- Pauline Maurice (Chargée de Recherche CNRS au LORIA) – [pauline.maurice@loria.fr](mailto:pauline.maurice@loria.fr),
- Jonathan Savin (Responsable d'Etudes à l'INRS) – [jonathan.savin@inrs.fr](mailto:jonathan.savin@inrs.fr).

La durée envisagée du stage est de 6 mois, avec une date de début entre Janvier et Avril 2025 (la date exacte de début sera à définir avec le ou la stagiaire). Le ou la stagiaire recevra une gratification mensuelle. Il ou elle aura accès à la cantine du lieu de stage à un tarif avantageux. Le laboratoire rembourse également la carte transports de la ville de Nancy à hauteur de 50 %.

## Profil

Le stage correspond à un stage de Master 2 ou de fin d'études d'ingénieur, avec un profil biomécanique, ou robotique avec un intérêt pour la biomécanique.

### *Compétences techniques :*

- Connaissances en biomécanique humaine, et/ou en modélisation des systèmes poly-articulés (modélisation cinématique et dynamique).
- Informatique : langage Python (les routines de pré-traitement des données brutes sont en Python).
- Connaissances de base en statistiques (principaux tests et méthodes d'inférence).
- La connaissance du logiciel OpenSim de simulation biomécanique serait apprécié (il sera utilisé pour la phase de cinématique inverse).
- La connaissance d'une suite logicielle de traitement de données de capture de mouvement (idéalement QTM, système Qualisys) est un plus.

*Compétences humaines :* Esprit d'initiative, curiosité, rigueur scientifique (liste non-exhaustive).

*Langue :* Le stage pourra se dérouler en français ou en anglais. Toutefois la compréhension de l'anglais est indispensable (bibliographie, documentation logicielle).

## Candidature

Pour candidater, merci d'envoyer votre CV, une lettre de motivation expliquant votre intérêt pour ce sujet, et vos notes de Master à Pauline Maurice et Jonathan Savin (contacts ci-dessus). Merci d'indiquer "Stage Variabilité Motrice – Candidature" comme objet du mail.

Deux stages sont à pourvoir sur ce sujet.

## Références

- [1] M. Lorenzini, M. Lagomarsino, L. Fortini, S. Gholami, and A. Ajoudani, "Ergonomic human-robot collaboration in industry : A review," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 9, p. 813907, 2023.
- [2] C. Gaudez, M. Gilles, and J. Savin, "Intrinsic movement variability at work. how long is the path from motor control to design engineering?," *Applied ergonomics*, vol. 53, pp. 71–78, 2016.
- [3] D. Srinivasan and S. E. Mathiassen, "Motor variability in occupational health and performance," *Clinical biomechanics*, vol. 27, no. 10, pp. 979–993, 2012.