



Offre n°2024-07494

## Doctorant F/H Commande partagée par cartographie musculaire pour l'assistance du membre supérieur pour des pathologies neuromusculaires et neurodégénératives

Type de contrat : CDD

Niveau de diplôme exigé : Bac + 5 ou équivalent

Fonction : Doctorant

### A propos du centre ou de la direction fonctionnelle

Le centre Inria Rennes - Bretagne Atlantique est un des huit centres d'Inria et compte plus d'une trentaine d'équipes de recherche. Le centre Inria est un acteur majeur et reconnu dans le domaine des sciences numériques. Il est au cœur d'un riche écosystème de R&D et d'innovation : PME fortement innovantes, grands groupes industriels, pôles de compétitivité, acteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur, laboratoires d'excellence, institut de recherche technologique.

### Contexte et atouts du poste

Le contexte d'emploi de ce poste est l'action exploratoire Inria MusMaps.

MusMapS exploite des cartographies d'efforts de sujets pathologiques pour personnaliser l'assistance d'un exosquelette du membre supérieur par commande partagée. Le couplage musculosquelettique - commande partagée pour des pathologies type neuromusculaires (myopathies) ou neurodégénératives (sclérose en plaques, post-AVC, ...) est un enjeu de recherche à fort potentiel applicatif pour ces patients.

Cette action exploratoire est menée conjointement par les équipes Inria [MimeTIC](#) et [Rainbow](#), en collaboration avec le [Pôle Saint Hélier](#) et la chaire Innovations Handicap Autonomie et Accessibilité ([IH2A](#)) de l'INSA de Rennes.

La commande partagée est maintenant devenue une référence dans le développement des systèmes d'assistance (cobots, exosquelettes) permettant de suppléer partiellement ou complètement ou d'assister l'activité d'un utilisateur. La commande partagée fait référence à une approche collaborative et coopérative dans laquelle l'homme et la machine contribuent au contrôle d'un système. Cela permet de trouver un équilibre entre l'intuition humaine et la précision de la machine. En particulier, la robotique pour le handicap s'intéresse depuis longtemps à ces questions qui nécessitent à la fois une bonne interprétation des intentions de l'utilisateur et la génération d'une commande adaptée au besoin de la tâche identifiée et de l'utilisateur. Dans le cadre de ce projet, nous nous intéresserons aux systèmes d'assistance du membre supérieur. De nombreuses stratégies de commande partagée se basent sur une commande en admittance [4]. Les applications courantes dans le cadre du handicap sont l'assistance aux tâches du quotidien, comme saisir un objet, ouvrir une porte, boire... Les patients atteints de pathologies de type neuromusculaires (myopathies) ou neurodégénératives (Parkinson, sclérose en plaques, faiblesses musculaires liées à l'âge, ...) présentent une diminution de leurs capacités de générations efforts, mais aussi potentiellement de leur contrôle moteur. Cette variabilité individuelle nécessite une personnalisation du système d'assistance en fonction du niveau de déficience, à travers plusieurs "modes" de fonctionnement.

Pour le membre supérieur, les modes d'assistance les plus simples se contentent de compenser la gravité en estimant les actions de gravité sur le membre assisté (et donc en estimant sa configuration articulaire) [5]. Des commandes plus complexes permettent de tenir compte des capacités résiduelles de génération d'efforts des sujets en adaptant directement le niveau d'assistance en fonction de la tâche à assister et de cette capacité musculaire estimée [9]. Cette approche est très prometteuse car elle permet d'élaborer une commande en effort personnalisée et d'envisager le système d'assistance comme une réelle extension du membre du sujet. Cette approche est cependant peu commune dans la littérature du fait de la complexité du problème posé. En particulier, l'usage d'un estimateur des capacités de génération d'efforts musculaires pour des sujets pathologiques n'a pas encore été réalisé. C'est ce type d'approche originale que nous envisageons dans MusMapS.

Du point de vue méthodologique, nous voulons tout d'abord cartographier les capacités musculaires par mesure indirecte (cartographie) des capacités articulaires de sujets pathologiques. La mesure directe (in vivo) des capacités de génération d'efforts musculaire est impossible, c'est pourquoi des méthodes basées sur des mesures sur ergomètre isocinétique ont été développées. Ces machines, utilisées couramment en rééducation, cartographient la capacité d'effort articulaire en fonction de la position et de la vitesse de déplacement de l'articulation visée. Les muscles étant des actionneurs visco-

élastiques, et leur action sur l'articulation variant en fonction de la configuration articulaire, il est nécessaire de parcourir ces deux dimensions pour chaque articulation. Ces capacités peuvent alors être exploitées telles quelles pour représenter la génération d'effort des sujets au niveau articulaire, mais aussi être exploitées comme donnée d'entrée pour personnaliser les capacités musculaires d'un modèle musculosquelettique [1, 3, 8]. Ce type d'approche n'a jamais fait l'objet d'une application à des populations pathologiques type neuromusculaires (myopathies) ou neurodégénératives (parkinson, sclérose en plaques, faiblesses musculaires liées à l'âge, ...) du fait de la difficulté de mobilisation des membre supérieurs des sujets. C'est l'un des deux objectifs majeurs de cette action exploratoire. Ensuite, nous voulons faire appel à l'apprentissage supervisé pour entraîner un estimateur d'état du modèle représentant le sujet au cours de la tâche. Ce type d'approche a été proposée à partir d'électromyographie de surface [10], mais nous nous proposons d'exploiter uniquement les capteurs présents sur l'exosquelette pour cet estimateur (capteurs d'efforts et IMUs, codeurs des moteurs), pour minimiser le temps d'installation, d'équipement, et de réglage de l'exosquelette.

---

[1] Brian A Garner et Marcus G Pandy. "Estimation of musculotendon properties in the human upper limb". In : Annals of biomedical engineering 31 (2003), p. 207-220.

[2] Diane Haering et al. "Using Torque-Angle and Torque-Velocity Models to Characterize Elbow Mechanical Function : Modeling and Applied Aspects". In : Journal of Biomechanical Engineering 141.8 (2019), p. 084501.

[3] Frederik Heinen et al. "Muscle-tendon unit scaling methods of Hilltype musculoskeletal models : An overview". In : Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H : Journal of Engineering in Medicine 230.10 (2016), p. 976-984.

[4] Arvid QL Keemink, Herman van der Kooij et Arno HA Stienen. "Admittance control for physical human-robot interaction". In : The International Journal of Robotics Research 37.11 (2018), p. 1421-1444.

[5] Maxime Manzano et al. "Model-based upper-limb gravity compensation strategies for active dynamic arm supports". In : 2023 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR). IEEE, 2023, p. 1-6.

[6] Antoine Muller et al. "CusToM : a Matlab toolbox for musculoskeletal simulation". In : Journal of Open Source Software 4.33 (2019), p. 1-3.

[7] Antoine Muller et al. "Non-invasive techniques for musculoskeletal model calibration". In : Congrès Français de Mécanique. 2017.

[8] Pierre Puchaud et al. "Knee torque generation capacities modelled with physiological torque-angle-velocity relationships". In : Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering 22.sup1 (2019), S286-S288.

[9] Lowell Rose, Michael CF Bazzocchi et Goldie Nejat. "A model-free deep reinforcement learning approach for control of exoskeleton gait patterns". In : Robotica 40.7 (2022), p. 2189-2214.

[10] Benjamin Treussart et al. "Controlling an upper-limb exoskeleton by EMG signal while carrying unknown load". In : 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2020, p. 9107-9113.

## Mission confiée

Dans le cadre de ce projet, le.a doctorant.e recruté.e aura pour mission de **développer la commande partagée basée sur les capacités de génération d'effort du sujet estimées en temps réel**. En particulier, il.elle devra mener deux axes de recherches fondamentaux :

- **Estimateur basé capteur** : Pour estimer l'état courant de l'utilisateur, nous allons procéder en deux étapes. Nous allons d'abord chercher à apprendre l'état cinématique du sujet (positions et vitesses articulaires) à partir des capteurs disponibles sur le système, puis nous allons exploiter les cartographies musculaires recueillies pour chaque sujet pour estimer en temps réel les capacités du sujet.
- **Commande partagée** : L'estimateur des capacités de génération d'effort sera exploité dans une commande partagée développée sur une architecture existante actuellement développée dans une autre thèse [5]. L'idée base consiste à adapter le niveau d'assistance en fonction de la tâche réalisée et de l'état courant du sujet. La commande partagée proposée ici consiste à exploiter ces cartographies personnalisées pour adapter à tout instant le niveau d'assistance du système pour la réalisation de tâches du quotidien (ouvrir une porte, saisir un objet, boire, manger...). Le couplage musculo-squelettique - commande partagée pour des pathologies type neuromusculaires (myopathies) ou neurodégénératives (sclérose en plaques, vieillissement, ...) est exploratoire et n'a pas encore fait l'objet de recherches approfondies.

Cette thèse faisant l'objet d'une collaboration entre les équipes Inria Rainbow (robotique) et MimeTIC (biomécanique) ainsi que le pôle de rééducation et de réadaptation Saint Hélier et son lab d'innovation, une attention particulière sera portée à l'**évaluation expérimentale** de cette commande.

## Principales activités

**Principales activités :**

- Conceptualiser et développer un estimateur d'état du sujet
- Etablir des règles de commande partagée pour l'interaction humain-système
- Mettre en œuvre des expérimentations de validation et d'évaluation
- Prototyper les méthodes et le système le cas échéant

**Activités complémentaires :**

- présenter les résultats aux patients et aux praticiens
- valoriser la recherche par le biais d'articles scientifiques

- collaborer avec l'équipe développant les cartographies musculaires

## Avantages

- Restauration subventionnée
- Transports publics remboursés partiellement
- Possibilité de télétravail à hauteur de 90 jours annuels
- Prise en charge partielle du coût de la mutuelle

## Rémunération

Salaires mensuels bruts de 2100€ les 2 premières années et de 2200€ la troisième.

## Informations générales

- **Thème/Domaine** : Robotique et environnements intelligents
- **Ville** : Rennes
- **Centre Inria** : [Centre Inria de l'Université de Rennes](#)
- **Date de prise de fonction souhaitée** : 2024-09-01
- **Durée de contrat** : 3 ans
- **Date limite pour postuler** : 2024-06-08

## Contacts

- **Équipe Inria** : [RAINBOW](#)
- **Directeur de thèse** :  
Babel Marie / [Marie.Babel@irisa.fr](mailto:Marie.Babel@irisa.fr)

## A propos d'Inria

Inria est l'institut national de recherche dédié aux sciences et technologies du numérique. Il emploie 2600 personnes. Ses 215 équipes-projets agiles, en général communes avec des partenaires académiques, impliquent plus de 3900 scientifiques pour relever les défis du numérique, souvent à l'interface d'autres disciplines. L'institut fait appel à de nombreux talents dans plus d'une quarantaine de métiers différents. 900 personnels d'appui à la recherche et à l'innovation contribuent à faire émerger et grandir des projets scientifiques ou entrepreneuriaux qui impactent le monde. Inria travaille avec de nombreuses entreprises et a accompagné la création de plus de 200 start-up. L'institut s'efforce ainsi de répondre aux enjeux de la transformation numérique de la science, de la société et de l'économie.

## L'essentiel pour réussir

- Roboticien de formation
- Connaissances en biomécanique
- Compétences numériques avérées (liste non exhaustive : méthodes d'optimisation, machine learning, codage microcontrôleur, etc.)
- Capacité à communiquer avec de multiples interlocuteurs (cliniciens, roboticiens, etc.)
- Appétence à l'expérimentation auprès de personnes en situation de handicap
- Anglais scientifique

**Attention:** Les candidatures doivent être déposées en ligne sur le site Inria. Le traitement des candidatures adressées par d'autres canaux n'est pas garanti.

## Consignes pour postuler

Merci de déposer en ligne CV, lettre de motivation et éventuelles recommandations

### Sécurité défense :

Ce poste est susceptible d'être affecté dans une zone à régime restrictif (ZRR), telle que définie dans le décret n°2011-1425 relatif à la protection du potentiel scientifique et technique de la nation (PPST). L'autorisation d'accès à une zone est délivrée par le chef d'établissement, après avis ministériel favorable, tel que défini dans l'arrêté du 03 juillet 2012, relatif à la PPST. Un avis ministériel défavorable pour un poste affecté dans une ZRR aurait pour conséquence l'annulation du recrutement.

### Politique de recrutement :

Dans le cadre de sa politique diversité, tous les postes Inria sont accessibles aux personnes en situation de handicap.