

<b>Titre :</b> Commande myoélectrique avancée des articulations distales		
Directeur(s) et encadrant(s) de thèse	Nom Prénom	Aoustin Yannick (PU)
	Laboratoire/Équipe	LS2N/REV
	Nombre de thèses en cours	2 (une co-tutelle 50%/une contrat d'établissement 50%)
	Nom Prénom	Jozina De Graaf (PU)
	Laboratoire/Équipe	Aix Marseille Université - ISM
	Nombre de thèses en cours	3 (2 à 100%, 1 à 50%), soutenances prévues fin de l'année
	Nom Prénom	Le Carpentier Eric (MdC)
	Laboratoire/Équipe	LS2N/SIMS
	Nombre de thèses en cours	2 (à 30%)
	École Doctorale	ED MaSTIC

### Résumé

**Contexte :** À la suite d'une maladie, un accident, l'amputation d'un membre inférieur ou supérieur d'une personne affecte lourdement sa vie de tous les jours. Depuis quelques années des prothèses dites myo-électriques sont de plus en plus prisées pour pallier l'absence du membre, notamment supérieur. Les entrées de ces prothèses sont les signaux électriques délivrés par des muscles situés en amont de l'amputation. Le sujet de thèse s'inscrit dans le cadre du programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) exploratoire O2R "Robotique organique". Et plus particulière sur le thème de la prothèse "REINVENT", Réinventer la prothèse (Reinventing prosthetics).

### Sujet :

En collaboration avec la startup Orthopus nous avons déjà travaillé sur une prothèse de main sous-actionnée [Butin et al 2023, 2024], pour une amputation au niveau de l'articulation du poignet. REINVENT souhaite étendre l'étude à une prothèse coude/poignet/main. L'application visée est donc de prendre en compte le handicap d'une amputation en amont du coude. Nous adresserons par conséquent le problème de la communication entre le membre résiduel (MR) et les actionneurs de la prothèse. Cette communication portera sur l'EMG associée à la mobilité fantôme, présente chez 76% des amputés du membre inférieur (Touillet et al. 2018). Le travail de thèse portera sur trois axes.

#### 1°) Exploitation des activités myoélectriques liées à la mobilité fantôme

Dans un premier temps, des amputés transhuméraux seront sélectionnés et entraînés pour avoir des mouvements fantômes fluides (Rossel, 2023) pendant la réalisation de mouvements volontaires de leur MR. Les activités musculaires du MR seront enregistrées avec un manchon multi-électrodes sèches (installation rapide), ce qui permettra d'étudier le nombre minimal d'électrodes nécessaire à la distinction entre les activités liées à l'exécution des mouvements fantômes et les activités liées aux mouvements du MR.

Il faudra apprendre à dissocier les mouvements propres du MR des mouvements fantômes du bras amputé. De plus, le port de prothèse va induire des perturbations liées aux mouvements de cette dernière. Ces deux phénomènes nécessiteront la mise au point d'un algorithme robuste de détection et d'identification de mouvements fantômes. Des méthodes d'apprentissage (Lento, 2023) seront

prises en œuvre pour détecter et identifier, à partir de mesures multi-canaux de sEMG, ces mouvements fantômes lorsque le participant amputé portera la prothèse sur son MR.

### 2°) Commande myoélectrique basée régression et électrode arrays (LS2N):

Une fois que nous aurons départagé les activités musculaires associées aux mouvements fantômes de celles liées aux mouvements du MR portant la prothèse, un modèle descriptif des signaux au niveau du MR se développera de façon à en extraire des paramètres afin de caractériser les mouvements fantômes.

### 3°) Commande de la prothèse.

Afin de prendre en compte les éventuelles perturbations qui agissent sur le système mécatronique, telles que les effets des frottements mécaniques et des forces de gravité, et afin d'obtenir un comportement du bras appareillé continu et dynamique, nous développerons un ensemble de compensations de la gravité de la structure mécatronique, de ses frottements et de sa dynamique à l'aide d'une commande feed-forward basée sur un modèle dynamique le plus réaliste possible (Aoustin and Formalskii, 2013).

Ensuite une étude sera menée afin d'identifier de possibles comportements automatiques de la prothèse (postures de repos, ajustements automatiques, balancement) permettant de réduire la charge cognitive des utilisateurs et de reproduire l'activité réflexe/inconsciente.

Planning :

- L'année D1 sera essentiellement réservée à l'exploitation des activités myoélectriques liées à la mobilité fantôme (rédaction d'un article de conférence, biomécanique).
- L'année D2, la commande myoélectrique basée régression et électrode arrays (LS2N) sera développée (rédaction d'un article de revue).
- L'année D3 sera commande du système mécatronique (rédaction d'un article de revue, rédaction de la thèse).

Rossel O., M. Chateaux, N. Jarrassé, F. Vérité, A. Touillet, C. Nicol, J. Paysant, J. B. De Graaf "Phantom movement training without classifier performance feedback improves mobilization ability while maintaining EMG pattern classification" In IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics , volume 5 , 2023.

Butin C, Aoustin Y , Chablat D, et Gouaillier D, "Design of an efficient non-backdrivable mechanism with wrap spring for hand prosthesis", Journal of Mechanics and Robotics, 1-14, jMR-23-1557, 10.1115/1.4064739, 2024.

Aoustin Y. et Formalskii, A., "Modeling control and simulation of upward jump of a biped", Multibody System Dynamics, 32 (1), pp. 55-66, 2013.

Lento, B., Aoustin, Y., and Zielinska, T. (February 16, 2023). "Feasibility Study of Upper Limb Control Method Based On EMG-Angle Relation." ASME. J. Comput. Nonlinear Dynam. doi: <https://doi.org/10.1115/1.4056918>.

Touillet, A., Peultier-Celli, L., Nicol, C., Jarrassé, N., Loiret, I., Martinet, N., ... & De Graaf, J. B. (2018). Characteristics of phantom upper limb mobility encourage phantom-mobility-based prosthesis control. Scientific Reports , 8 (1), 15459.

Mots clefs : Prothèse de membre supérieur, mouvements fantômes, contrôle intuitif

**Le financement** se fera dans le cadre d'un contrat doctoral d'enseignement (CDE).

**Salaire annuel (2023)** : 26.4k€ brut

**Début et durée** : La date souhaitée du travail de thèse est septembre 2023, pour une durée de 36 mois.

**Lieu de travail** : Le lieu de travail du (de la) doctorant(e) sera le LS2N, Campus de l'École Centrale de Nantes.

**Site de candidature** : <https://theses.doctorat-bretagneloire.fr/mastic>

## CV directeur thèse

### 1. Identification

Nom Aoustin  
Prénom Yannick

Grade Professeur des Universités  
Directeur de l'ED MaSTIC  
Section CNU 61  
LS2N/REV  
Tel : +33 2 40 37 69 48  
Emel : [yannick.aoustin@univ-nantes.fr](mailto:yannick.aoustin@univ-nantes.fr)  
[yannick.aoustin@ls2n.fr](mailto:yannick.aoustin@ls2n.fr)  
[yannick.aoustin@ec-nantes.fr](mailto:yannick.aoustin@ec-nantes.fr)

### 2. Thèmes de recherche

Walking robot, Exoskeleton, Processing of EMG signals, biomechanics.

### 3. Publications récentes

- T. Yu, K. Akhmadeev, E. Le Carpentier, Aoustin Y., R. Gross, Y. Pereon, and D. Farina. Recursive decomposition of electromyographic signals with a varying number of active sources: Bayesian modelling and filtering, *IEEE Trans. on Biom. Engi.*, Vol. 67, (2), p 428.-440, 2020.
- T. Yu, K. Akhmadeev, E. Le Carpentier, Aoustin Y., and D. Farina. On-line recursive decomposition of intramuscular EMG signals using GPU-Implemented Bayesian Filtering, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 67, (6), pages 1806-1818, 2020.
- K. Akhmadeev, T. Yu, E. Le Carpentier, Aoustin Y., and D. Farina. Simulation of motor unit action potential recordings from intramuscular multichannel scanning electrodes, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 67, pages 2005-2014, (7), 2020.
- C. Chevallereau, P. Wenger, Aoustin Y., F. Mercier, N. Delanoue, and P. Lucidarme. Leg design locomotion with mono-articular, *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 156, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.104138>, 2020.
- L. Michel, S. Selvarajan, M. Ghanes, F. Plestan, Aoustin Y., J.-P. Barbot, An experimental investigation of discretized homogeneous differentiators: pneumatic actuator case, *Journal of emerging and selected topics in industrial electronics (JESTIE)*, Vol 2, (3), 227-236, DOI 10.1109/JESTIE.2021.3061924, 2021.
- M. Hobon, De-Léone-Gomez V., G. Abba, **Aoustin Y.**, and C. Chevallereau. Feasible Speeds for Two Optimal Periodic Gaits of a Planar Biped Robot, *Robotica*, 40(2), 377-402. doi:10.1017/S0263574721000631, 2022.
- A. Kalouguine, V. De-Leon-Gomez, C. Chevallereau, S. Dalibard, Aoustin Y., "A new human-like walking for the humanoid robot Romeo, *Multibody System Dynamics*, DOI: 10.1007/s11044-021-09805-w, 2021.
- T. Yu, K. Akhmadeev, E. Le Carpentier, Aoustin Y. and D. Farina, "Highly accurate real-time decomposition of single channel intramuscular EMG," in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol 69, (Issue 2), 746-757, doi: 10.1109/TBME.2021.3104621, 2022.
- Côme Butin, Damien Chablat, Yannick Aoustin et David Gouaillier "Design of a Two-Speed Load Adaptive Variable Transmission for Energetic Optimization of an Accessible Prosthetic Hand", *ASME, Journal of Mechanisms and Robotics*, 2022.
- Yaodong Lu, Yannick Aoustin et Vigen Arakelian "Mechatronic design of Dynamically Decoupled Manipulators based on Improvement", *Robotica*, <https://doi.org/10.1017/S0263574722001485>, 2022.
- Qiuyue Luo, Christine Chevallereau, Yongsheng Ou, Jianxin Pang, Victor De-Leon-Gomez, Yannick Aoustin "A self-stabilised walking gait for humanoid robots based on

the essential model with internal states", IET Cyber-Systems and Robotics, <https://doi.org/10.1049/csy2.12071>, 2022.

- Côme Butin, Damien Chablat, Yannick Aoustin et David Gouaillier, "Novel Kinematics of an Anthropomorphic Prosthetic Hand Allowing Lateral and Opposite Grasp with a Single Actuator", Journal of computational and nonlinear dynamics, CND-22-1260 <https://doi.org/10.1115/1.4056852>, 2023.
- Lento, B., Aoustin, Y., and Zielinska, T. (February 16, 2023). "Feasibility Study of Upper Limb Control Method Based On EMG-Angle Relation." ASME. J. Comput. Nonlinear Dynam. doi: <https://doi.org/10.1115/1.4056918>.
- Côme Butin, Damien Chablat, Yannick Aoustin et David Gouaillier, "Novel Kinematics of an Anthropomorphic Prosthetic Hand Allowing Lateral and Opposite Grasp With a Single Actuator", Journal of Computational and Nonlinear Dynamics 18 (6), 061005, 2023.
- Mojallizadeh, M. R., Brogliato, B., Polyakov A., Sevarajan, S., Michel, L., Plestan, F., Ghanes, M., Barbot, J.-P., and Aoustin Y. "A survey on the discrete-time differentiators in closed-loop control systems: Experiments on an electro-pneumatic system." Control Engineering Practice 136(9):105546, 10.1016/j.conengprac.2023.105546.
- Michel, L., Métillon, M., Caro, S., Ghanes, M., Plestan, F., Barbot, J.-P., and Aoustin Y. "A semi-implicit homogeneous discretized differentiator based on two projectors: Experimental validation on a cable-driven parallel robot named CRAFT." Mechanics & Industry, Vol. 2024, 10.1051/meca/2024005.
- Côme Butin, Yannick Aoustin, Damien Chablat, et David Gouaillier, "Design of an efficient non-backdrivable mechanism with wrap spring for hand prosthesis", Journal of Mechanics and Robotics, 1-14, jMR-23-1557, 10.1115/1.4064739, 2024.
- Yaodong Lu, Yannick Aoustin}} et Vigen Arakelian "Optimization of design parameters and improvement of human comfort conditions in an upper-limb exosuit for assistance", Mutibody System, to 10.1007/s11044-024-09977-1, 2024.