



## **Projet ProMain**

### **Rapport d'activités 2015**

26 janvier 2016

---

*Ce projet a été soutenu par l'Université Paris Lumière durant les années 2014 et 2015. Ce rapport d'activités concerne donc la deuxième année et accompagne la demande de financement pour la troisième année.*

---



# Table des matières

<b>Contexte</b>	<b>3</b>
<b>1 Objectifs Scientifiques</b>	<b>3</b>
<b>2 Activités et réalisation</b>	<b>4</b>
2.1 Traitement des signaux électromyographiques (EMG) . . . . .	4
2.2 Doigts ProMain1 . . . . .	5
2.3 Main précision . . . . .	5
<b>3 Bilan</b>	<b>7</b>
3.1 Publications . . . . .	8
3.1.1 Publications dans des conférences internationales . . . . .	8
3.1.2 Contribution dans un ouvrage . . . . .	8
3.1.3 Participation à des journées et des conférences nationales ou internatio- nales . . . . .	8
3.2 Etudiants associés au projet ProMain . . . . .	9
3.2.1 Université Paris Ouest Nanterre La Défense . . . . .	9
3.2.2 Université Paris 8 . . . . .	10
<b>Références</b>	<b>12</b>

## Contexte

Le projet “ ProMain ” concerne le développement d’une prothèse de main compacte, légère et directement connectée à l’avant-bras de la personne de manière non intrusive. Ainsi, des capteurs en surface de l’avant-bras et des muscles dorsaux seront positionnés afin de pouvoir piloter les mouvements de la main artificielle, à partir de l’activité électrique détectée au niveau des muscles de surfaces (signaux EMG). Cette prothèse de main utilisera le principe de sous-actionnement mécanique pour développer une main robotique qui a des capacités de préhension similaires à la main humaine, tout en limitant le nombre d’actionneurs requis pour la commander. Cette main aura des dimensions semblables à la main humaine de manière à ce qu’elle soit fonctionnelle dans un milieu conçu pour les humains.

Ce projet est porté par le LEME (UPO) en partenariat avec le LIASD (UP8). Les Enseignants Chercheurs impliqués dans ce projet sont coté UPO : Olivier Polit, Laurent Gallimard, Nabil El Korso, Michele D’Ottavio et coté UP8 : Nicolas Jouandeau, Adrien Revault d’Allonnes. Ce projet concerne aussi deux doctorants Astrid Rubiano Fonseca & José Luis Ramírez Arias, inscrits en thèse de doctorat à l’ED 139 de UPO.

De plus, la société COGITOBIO est associée à ce projet afin de compléter le panel de compétences du projet à travers Pol Leborgne, directeur de cette société, docteur en Bio-mécanique et spécialiste en ergonomie et Sophie Longuet, docteur en STAPS et spécialiste en neuroscience et contrôle moteur. Cette société possède les moyens expérimentaux pour identifier mouvement et signaux EMG et nous donne un accès gracieux à la salle expérimentale. Par ailleurs, des étudiants de cette école ont été associés pour mener à bien les campagnes expérimentales en utilisant les protocoles définis durant la première année.

Cette année, un étudiant Master 1 UPO a effectué son stage dans le cadre de ce projet, ainsi que deux étudiants de licence et Master de UP8. Leurs travaux seront discutés dans les sections suivantes. De plus, deux projets “ Travaux Etude et Recherche ” (TER) viennent de débiter avec trois étudiants de Master 2 UPO.

Enfin, la demande de renouvellement de ce projet pour la troisième année accompagne ce rapport d’activités.

## 1 Objectifs Scientifiques

Les objectifs scientifiques du projet durant sa deuxième année, définis lors de l’appel à projet, peuvent se résumer selon trois axes :

1. Exploitations des résultats expérimentaux obtenus chez cogito/osteo Bio sur la relation entre signaux EMG et mouvement du membre supérieur.
2. Conception, modélisation mathématique et fabrication d’un doigt sous-actionné **Pro-**

### **Main1.**

3. Réalisation d’un prototype de main précision, composée de trois doigts.

L’ensemble des objectifs que nous avons fixés lors de la rédaction du projet en novembre 2014 ont été mené a bien. Les résultats obtenus sont très encourageant car la collaboration entre UPO et UP8 a permis des avancées significatives sur chacun des item, des étudiants L3 et M2 ont pu être associés sur des sujets exploratoires et la participation des deux doctorants Astrid et José Luis à différentes conférences et journées scientifiques internationales a été rendue possible. Cela prouve la qualité des résultats obtenus dans le cadre de ce projet et la diffusion au sein de la communauté scientifique de ce projet et la collaboration entre UPO et UP8 au sein de UPL est maintenant avérée.

## **2 Activités et réalisation**

Les activités et les réalisations effectuées dans le cadre de ProMain, entre janvier et novembre 2015, sont synthétisées ici selon les trois axes identifiés précédemment.

### **2.1 Traitement des signaux électromyographiques (EMG)**

Les signaux électromyographiques (EMG) sont une mesure de l’activité électrique produite par des muscles pendant le mouvement. Donc, il est possible d’évaluer le mouvement par l’analyse de ce signaux [1]. Mais, en raison de la nature de l’EMG, l’évaluation n’est pas simple [2].

Dans la littérature, plusieurs études pertinentes ont été effectuées. Certaines d’entre elles sont concentrés sur la relation entre les signaux EMG et le mouvement, et d’autres abordent la classification de signaux pour identifier les mouvements. Par rapport à l’approche de la classification des signaux EMG, Oskoei et Huosheng [3] a exécuté la classification de cinq mouvements de la main et ils ont obtenu une précision de 94%. Dans [4], les auteurs ont proposé l’identification des mouvements du poignet et les mouvements du doigt annulaire et ils ont obtenu une exactitude de 87.3%. Plus récemment, Wang *et al.* [5] ont mis en place la reconnaissance de huit gestes de préhension avec une exactitude variant entre 96.9% et 99.65%.

Toutefois, ces études n’ont pas établi de relation claire entre EMG et mouvement et le processus de classification peut donc être amélioré. Par conséquent, nous avons développé une nouvelle méthode d’analyse des signaux EMG basée sur la méthode des caractéristiques. Une caractéristique est une valeur scalaire extraite du signal EMG (dans le domaine temporel ou fréquentiel) qui contient des informations importantes et peut être utilisée pour identifier le mouvement à partir de l’activité électrique des muscles.

Notre méthode analyse les paramètres cinématiques comme la vitesse et la position angulaire, pour extraire de manière précise le fragment de signal qui correspond exactement au mouvement

analysé. Nous augmentons ainsi la possibilité d’établir une relation EMG-mouvement qui peut améliorer le processus d’évaluation de mouvement.

Dans un deuxième temps, nous exécutons une comparaison entre les données cinématiques et les signaux EMG obtenus lors des expériences menés chez COGITOBIO pour proposer un critère qui permette de choisir le couple de caractéristiques qui sépare de manière optimale les mouvements d’extension et de flexion. Finalement, les résultats de notre critère sont testées en utilisant un algorithme [6] SVM (*support vector machine*) de classification non-linéaire. Pour tester la robustesse de notre méthode, nous avons ajouté un bruit gaussien (simulé) aux signaux. Nous avons obtenu un pourcentage de classification de 99.79% [7] qui est plus haut que la classification réussie dans l’état de l’art. Nous avons donc amélioré l’analyse des signaux EMG et la classification par rapport à la littérature en développant un nouvel algorithme de classification et d’identification.

## 2.2 Doigts ProMain1

Une limitation importante pour la conception des main robotisées est l’inefficacité des modèles mathématiques existants. Les modèles mathématiques disponibles dans la bibliographie sont : 1) Denavit-Hartenberg (DH) [8], et 2) les synergies du mouvement [8–10]. Afin de concevoir la prothèse de main et d’établir une loi de contrôle, nous avons proposé un nouveau modèle appelé DHKK-SRQ [11]. Le doigt est composé d’un train d’engrenages qui pilote la phalange proximale et de deux assemblages tendon-poulie qui permettent d’actionner les phalanges médiale et distale. Le doigt a été testé en utilisant une plateforme qui permet de mesurer la cinématique du doigt et la force appliquée en bout de doigt. Les Figures 1a et 1b montrent les plateformes de test conçues pour le doigt. La figure 2 montre le montage expérimental. Les expériences menées nous ont permis de valider l’efficacité de notre modèle mathématique ainsi que le bon comportement du doigt.

Plusieurs pistes ont donc été explorées et concernent : (i) l’optimisation de la géométrie du doigt ; (ii) le système de pilotage, c’est à dire la liaison entre les phalanges, les tendons, et le pilotage du mouvement ; (iii) la mesure de pression à l’extrémité du doigt. Cela a permis de définir un cahier des charges qui permet d’explorer les développements actuels sur la robotique douce et les matériaux intelligents. On peut ainsi simplifier le contrôle et diminuer les besoins en énergie à embarquer pour assurer le fonctionnement de la prothèse de main.

## 2.3 Main précision

La tâche de conception d’une main robotisée (pour reproduire les capacités de prise et la fonction cinématique de la main humaine) implique la considération d’une complexité élevée de fonctions sensorielles et motrices. Quelques exemples de mains robotisées qui pourraient être

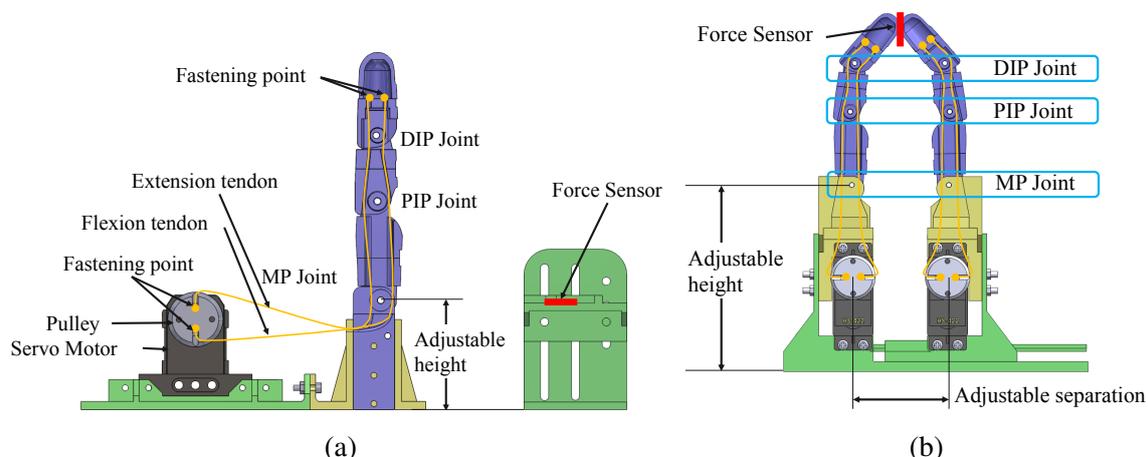


FIGURE 1 – CAO des plateformes. (a) Un doigt, (b) Deux doigt.

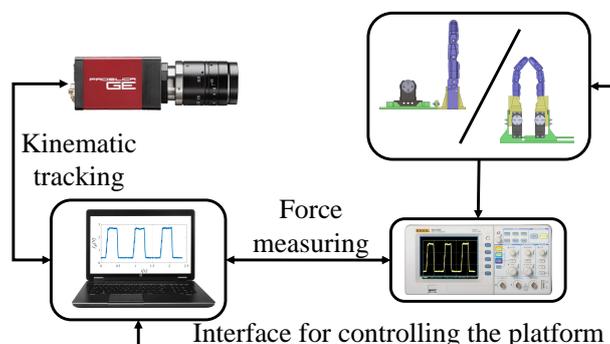


FIGURE 2 – Montage expérimental.

utilisées comme prothèse sont disponibles dans la littérature [12]. Ces mains robotisées peuvent être classifiées comme commerciales (*e.g* l’i-limb) ou de recherche (*e.g* DLR-HIT-II ou UB-Hand 4) [13]. Malgré tout, des problèmes subsistent concernant l’actionnement et les capacités physiques et cinématiques [14].

La main ProMain-I, que nous avons développé, est une solution à la problématique de reproduction des capacités de préhension et de précision de la main humaine. La main est composée de trois doigts disposés de telle manière qu’il est possible d’attraper différents objets de forme et de poids variables. La Figure 3 montre le modèle CAO et le prototype de main fabriquée. Afin de valider le fonctionnement de la main, un logiciel de contrôle a été conçu, et la Figure 4 montre l’interface du logiciel de contrôle et de pilotage de la main.

L’objectif pour la fin d’année va être de connecter le logiciel de reconnaissance du mouvement à partir des signaux EMG avec le logiciel de pilotage de la main présenté 4. Ainsi, un système embarqué autonome permettra de piloter la main précision à partir de la mesure de l’activité musculaire par signaux EMG.

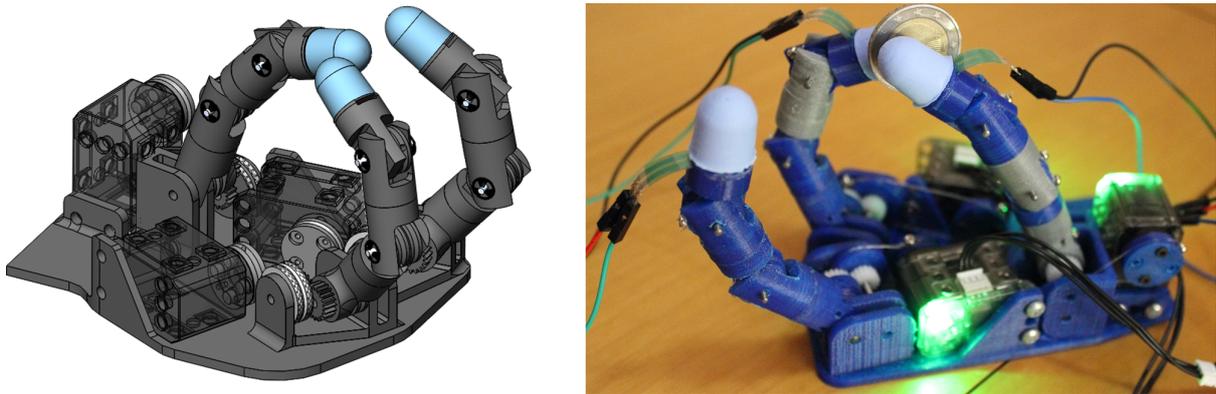


FIGURE 3 – Montage expérimental.

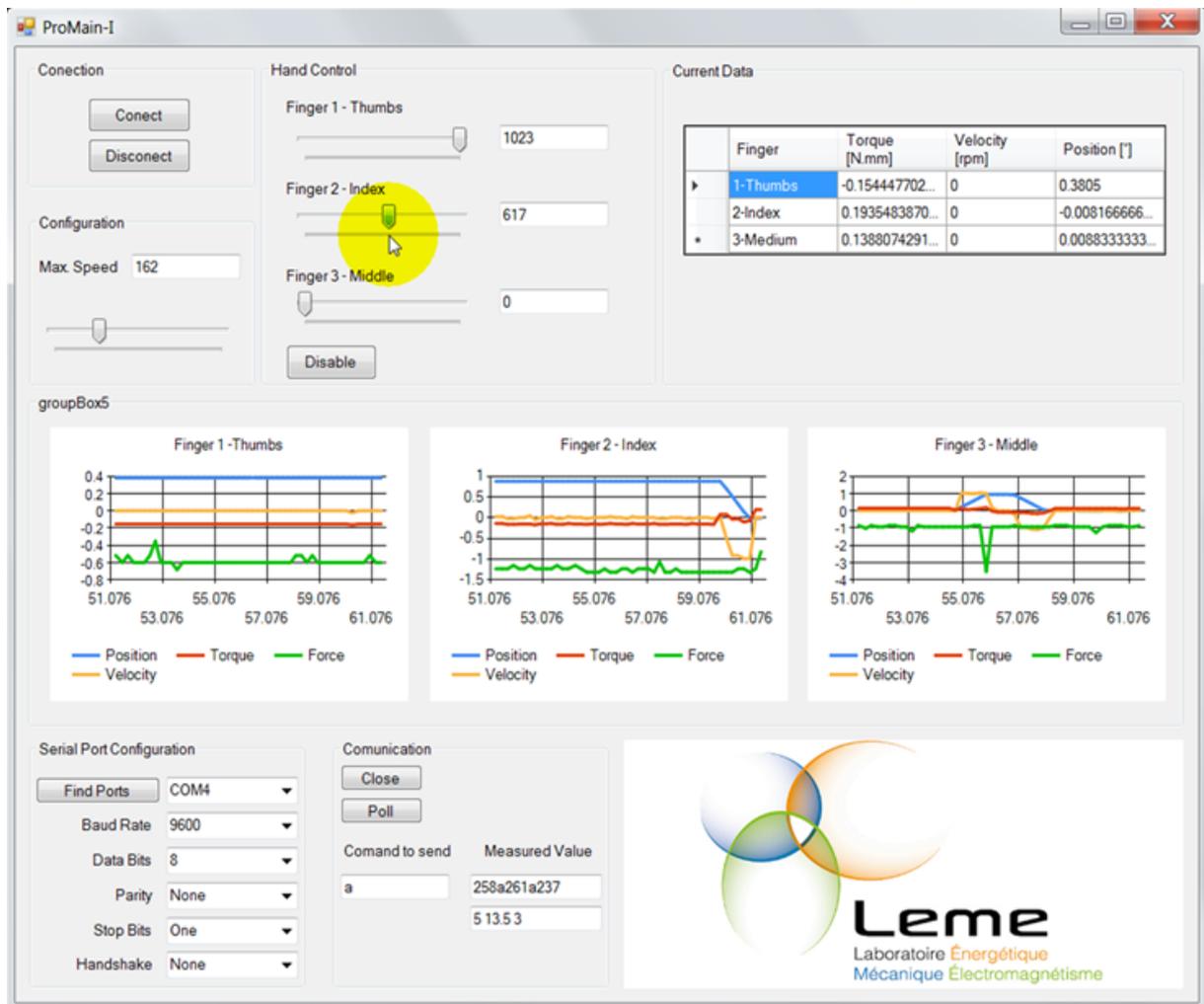


FIGURE 4 – logiciel de contrôle de la main.

### 3 Bilan

Cette dernière partie fait le bilan de ces onze mois de projet concernant :

- publications dans le cadre de ce projet
- étudiants associés au projet
- bilan financier et utilisation des ressources.

### 3.1 Publications et participation à des journées et des conférences nationales ou internationales

#### 3.1.1 Publications dans des conférences internationales

1. A Rubiano, J. Ramirez, M. N. El Korso, N Jouandeau, L Gallimard, and O Polit. Features selection and classification to estimate elbow movements. In *Journal of Physics : Conference Series*. JPCS, 2015 [7]
2. J. Ramirez, A. Rubiano, N. Jouandeau, L. Gallimard, and O. Polit. Morphological optimization of prosthesis’ finger for precision grasping of little objects. In *4th International workshop in medical and service robots (MESROB)*, Nantes, France, Jul 2015. Springer [15]
3. J. Ramirez, A. Rubiano, N. Jouandeau, M.N. El Korso, L. Gallimard, and O. Polit. Hybrid kinematic model applied to the under-actuated robotic hand prosthesis promain-i and experimental evaluation. In *14th IEEE/RAS-EMBS International Conference in rehabilitation robotics (ICORR)*, Singapore, Aug 2015. IEEE [11]
4. A Rubiano, J. Ramirez, M. N. El Korso, N Jouandeau, L Gallimard, and O Polit. Elbow flexion and extension identification using surface electromyography signals. In *23th European Signal Processing Conference, Sep 2015, Nice, France (EUSIPCO 2015)*. IEEE, 2015 [6]

#### 3.1.2 Contribution dans un ouvrage

1. J. L. Ramírez, A. Rubiano, N. Jouandeau, Gallimard L., and Polit O. *Requirements for artificial muscles to design robotic fingers*, chapter Requirements for artificial muscles to design robotic fingers. Springer, 2015

#### 3.1.3 Participation à des journées et des conférences nationales ou internationales

1. J. Ramirez, A. Rubiano, L. Gallimard, M.N. El Korso, N. Jouandeau, and O. Polit. Modeling and validation test of underactuated robotic finger. In *7th ECCOMAS Conference on Smart Structures and Materials SMART*, Ponta Delgada - Azores, Potyugal, 2015 [17]
2. J. Ramirez, A. Rubiano, N. Jouandeau, O. Polit, and L. Gallimard. Morphological optimization of a soft finger mechanism using a black box optimizer. In *DeMEASS Design*,

*Modelling and Experiments of Advanced Structures and Systems*, Radebeul, Germany, 2015 [18]

3. A Rubiano, J. Ramirez, N Jouandeau, M. N. El Korso, L Gallimard, and O Polit. Human upper limb motion estimation based on electromyography signals. In *DeMEASS Design, Modelling and Experiments of Advanced Structures and Systems*, Radebeul, Germany, 2015 [19]
4. A Rubiano, J. Ramirez, M. N. El Korso, N Jouandeau, S. Le Borgne, P. and Longet, L Gallimard, and O Polit. Analysis of surface electromyography signals for controlling soft robotic hand prosthesis. In *Journées Nationales de la Recherche en Robotique (JNRR)*, 2015 [20]
5. J. Ramirez, A. Rubiano, L. Gallimard, N. Polit, O. and Jouandeau, S. Longet, and P. Le Borgne. Kinematic and dynamic of underactuated soft robotic hand prosthesis. In *Journées Nationales de la Recherche en Robotique (JNRR)*, 2015 [21]
6. A. Rubiano, J.L. Ramírez, O. Polit, L. Gallimard, N. Jouandeau and M.N. El Korso, *Promain*. In *Robotique et Santé / GDR STIC-Santé*, Oral presentation, Université Paris 6, June 2015 [22]

## 3.2 Etudiants associés au projet ProMain

### 3.2.1 Université Paris Ouest Nanterre La Défense

**Étudiant** Adrien LYONNET

**Niveau** : Master 1, Stage de 3 mois

**Titre du projet** : Modélisation EF d’une capteur de force et étude bibliographique des matériaux intelligentes.

**Date** : avril-juin 2015

**Étudiant** : Olivier DE MONTLEAU

**Niveau** : Master 2, Travaux étude et Recherche

**Titre du projet** : Conception d’une phalange pour un doigt robotique avec une partie molle

**Date** : Novembre 2015

**Étudiant** : Adrien LYONNET et Aurelien SCOLA

**Niveau** : Master 2, Travaux étude et Recherche

**Titre du projet** : Conception et fabrication de trois plateformes de tests pour muscles artificiels

**Date** : Novembre 2015

### 3.2.2 Université Paris 8

**Étudiante :** Samia MALKI

**Niveau :** Master 1, stage

**Titre du projet :** Commande de chaine articulée en robotique douce

**Date :** mai-juillet 2015

**Étudiant :** Sofiane BOUHAZA

**Niveau :** Licence 3,

**Titre du projet :** Detection posturale a l’aide de signaux electromyogrammes

**Date :** mai-septembre 2015

## Références

- [1] M. B. I. Reaz, M. S. Hussain, and F. Mohd-Yasin. Techniques of EMG signal analysis : detection, processing, classification and applications. *Biological Procedures Online*, 8(1) :11–35, December 2006.
- [2] A. Alkan and M. Günay. Identification of EMG signals using discriminant analysis and SVM classifier. *Expert Systems with Applications*, 39(1) :44–47, January 2012.
- [3] M.A. Oskoei and H. Huosheng. Support vector machine-based classification scheme for myoelectric control applied to upper limb. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(8) :1956–1965, August 2008.
- [4] G. R. Naik, D.K. Kumar, and Jayadeva. Twin SVM for gesture classification using the surface electromyogram. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(2) :301–308, March 2010.
- [5] N. Wang, Y. Chen, and X. Zhang. The recognition of multi-finger prehensile postures using LDA. *Biomedical Signal Processing and Control*, 8(6) :706–712, November 2013.
- [6] A Rubiano, J. Ramirez, M. N. El Korso, N Jouandeau, L Gallimard, and O Polit. Elbow flexion and extension identification using surface electromyography signals. In *23th European Signal Processing Conference, Sep 2015, Nice, France (EUSIPCO 2015)*. IEEE, 2015.
- [7] A Rubiano, J. Ramirez, M. N. El Korso, N Jouandeau, L Gallimard, and O Polit. Features selection and classification to estimate elbow movements. In *Journal of Physics : Conference Series*. JPCS, 2015.
- [8] F. Ficuciello, G. Palli, C. Melchiorri, and B. Siciliano. Experimental evaluation of the UB Hand IV postural synergies. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 1775 – 1780, San Francisco, CA, USA, September 2011.

- [9] M.G. Catalano, G. Grioli, E. Farnioli, A. Serio, C. Piazza, and A. Bicchi. Adaptive synergies for the design and control of the Pisa/IIT SoftHand. *The International Journal of Robotics Research*, 33(5) :768–782, 2014.
- [10] M. Gabiccini, A. Bicchi, Do. Prattichizzo, and M. Malvezzi. On the role of hand synergies in the optimal choice of grasping forces. *Autonomous Robots*, 31(2-3) :235–252, 2011.
- [11] J. Ramirez, A. Rubiano, N. Jouandeau, M.N. El Korso, L. Gallimard, and O. Polit. Hybrid kinematic model applied to the under-actuated robotic hand prosthesis promain-i and experimental evaluation. In *14th IEEE/RAS-EMBS International Conference in rehabilitation robotics (ICORR)*, Singapore, Aug 2015. IEEE.
- [12] S. Zodey and S.K. Pradhan. Matlab Toolbox for Kinematic Analysis and Simulation of Dexterous Robotic Grippers. *Procedia Engineering*, 97 :1886–1895, 2014.
- [13] C. Melchiorri, G. Palli, G. Berselli, and G. Vassura. Development of the UB Hand IV : Overview of Design Solutions and Enabling Technologies. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 20(3) :72–81, September 2013.
- [14] J.T. Belter and A.M. Dollar. Performance characteristics of anthropomorphic prosthetic hands. In *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pages 921–927, 2011.
- [15] J. Ramirez, A. Rubiano, N. Jouandeau, L. Gallimard, and O. Polit. Morphological optimization of prosthesis’ finger for precision grasping of little objects. In *4th International workshop in medical and service robots (MESROB)*, Nantes, France, Jul 2015. Springer.
- [16] J. L. Ramírez, A. Rubiano, N. Jouandeau, Gallimard L., and Polit O. *Requirements for artificial muscles to design robotic fingers*, chapter Requirements for artificial muscles to design robotic fingers. Springer, 2015.
- [17] J. Ramirez, A. Rubiano, L. Gallimard, M.N. El Korso, N. Jouandeau, and O. Polit. Modeling and validation test of underactuated robotic finger. In *7th ECCOMAS Conference on Smart Structures and Materials SMART*, Ponta Delgada - Azores, Potyugal, 2015.
- [18] J. Ramirez, A. Rubiano, N. Jouandeau, O. Polit, and L. Gallimard. Morphological optimization of a soft finger mechanism using a black box optimizer. In *DeMEASS Design, Modelling and Experiments of Advanced Structures and Systems*, Radebeul, Germany, 2015.
- [19] A Rubiano, J. Ramirez, N Jouandeau, M. N. El Korso, L Gallimard, and O Polit. Human upper limb motion estimation based on electromyography signals. In *DeMEASS Design, Modelling and Experiments of Advanced Structures and Systems*, Radebeul, Germany, 2015.
- [20] A Rubiano, J. Ramirez, M. N. El Korso, N Jouandeau, S. Le Borgne, P.and Longet, L Gallimard, and O Polit. Analysis of surface electromyography signals for controlling soft

- robotic hand prosthesis. In *Journées Nationales de la Recherche en Robotique (JNRR)*, 2015.
- [21] J. Ramirez, A. Rubiano, L. Gallimard, N. Polit, O. and Jouandeau, S. Longet, and P. Le Borgne. Kinematic and dynamic of underactuated soft robotic hand prosthesis. In *Journées Nationales de la Recherche en Robotique (JNRR)*, 2015.
- [22] A. Rubiano, J.L. Ramírez, O. Polit, L. Gallimard, N. Jouandeau and M.N. El Korso, *Pro-main*. In *Robotique et Santé / GDR STIC-Santé*, Oral presentation, Université Paris 6, June 2015.