

## **DOCUMENT TECHNIQUE : PARTIE MECANIQUE de la main bionique (version 3)**

**Les parties du document technique :**

- 1- Généralité : anatomie de la main / doigts / articulations**
- 2- Description de l'évolution de la conception mécanique de la main**
- 3- Problématique mécanique, Impacts**
- 4- Cahier des charges et solutions technique envisageables**

<b>Document rédigé : 17/11/2023</b>	<b>Auteur : ILINA KHIAT</b>
---	---------------------------------

**Durée de travail :**

**Jeudi : 16/11/2023 : Documentation, compréhension de la problématique (5H)**

**Vendredi : 17/11/2023 : rédaction du document (4H)**

## **PARTIE GENERALITE :**

### **1- La main :**

La main humaine comprend une large paume et 5 doigts. Elle est attachée au reste du corps par une liaison appelée le poignet. Le dos de la main se nomme dorsum et le côté intérieur de la main est désigné comme étant la paume.

La paume est bordée latéralement par deux éminences ou saillies convexes : l'éminence thénar, sous le pouce et l'éminence hypothénar. La paume comporte trois rides profondes, présentes dès la naissance et un pli généralement présent :

- le pli palmaire inférieur ;
- le pli palmaire moyen ;
- le pli palmaire supérieur ;
- le pli hypothénarien ;



Figure 1– La main humaine

### **2- Les doigts**

Les cinq doigts de la mains sont (figure 3):

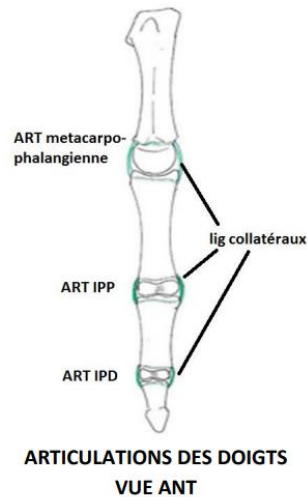
- le pouce (D1) ;
- l'index (D2) ;
- le majeur (D3) ;
- l'annulaire (D4) ;
- l'auriculaire (D5) ;

## 2-1 Les articulations au niveau des phalanges

La main comporte les articulations suivantes :

A- Articulations au niveau des phalanges, responsables du mouvement du doigt :

- les liaisons inter-phalangiennes (IP, IPP et IPD) ;



B- Articulations au niveau de la paume de la main, permettant de réaliser des mouvements et des gestes complexes avec la main, dont sa fermeture en forme de poing

- la liaison radio-carpienne
- les liaisons inter-carpiennes ;
- les liaisons carpo-métacarpiennes ;
- les liaisons inter-métacarpiennes ;
- les liaisons métacarpo-phalangiennes (MCP) ;

Deux phalanges composent le pouce, notées P1 et P3 (voir figure 2). Trois phalanges composent chacun des autres doigts, notés P1, P2 et P3. Elles sont également connues, dans l'ordre, sous les noms de phalange proximale, phalange médiane et phalange distale. Très innervée, la phalange distale, comprenant l'ongle, possède une grande sensibilité et permet à l'humain de mieux ressentir son environnement (chaud, froid, textures, etc.)

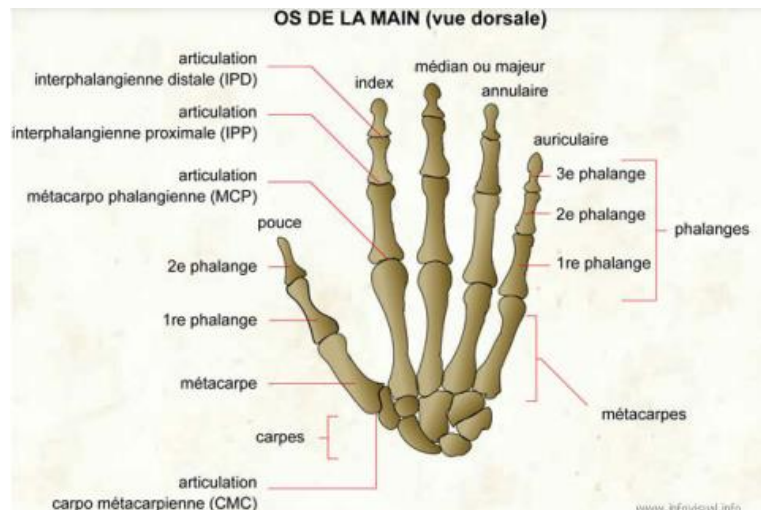


Figure 2 : Visualisation des articulations au niveau des quatorze phalanges.

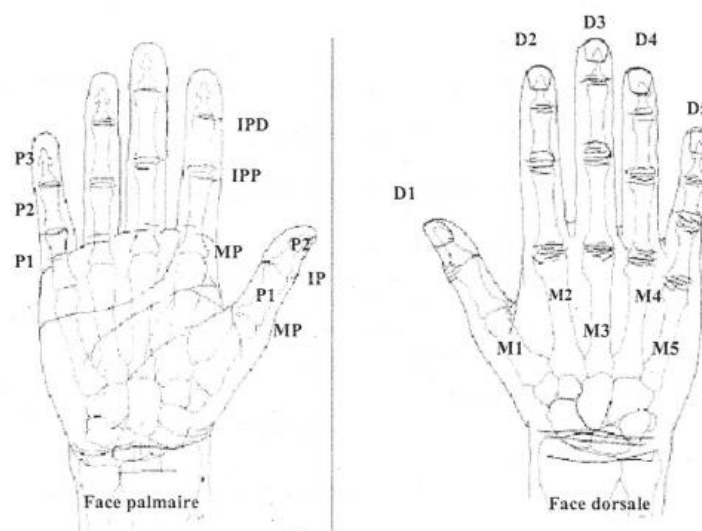
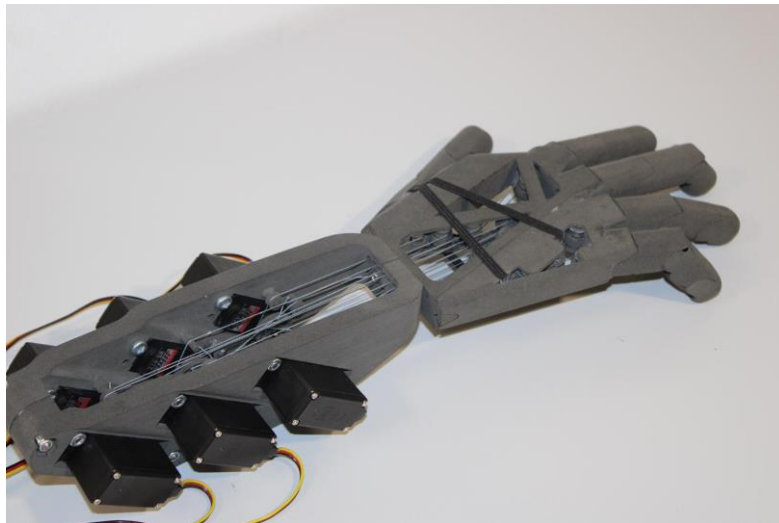
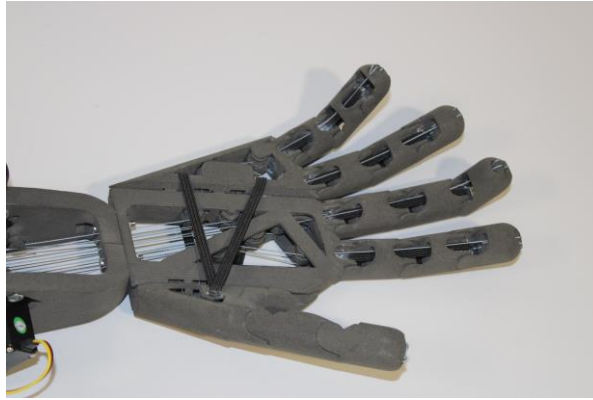


Figure 3 – Notation de la main (source : CSSS d'Arthabaska-et-de-l'Érable)

## **PARTIE 1 : État de l'art actuel de la main bionique (version 3)**

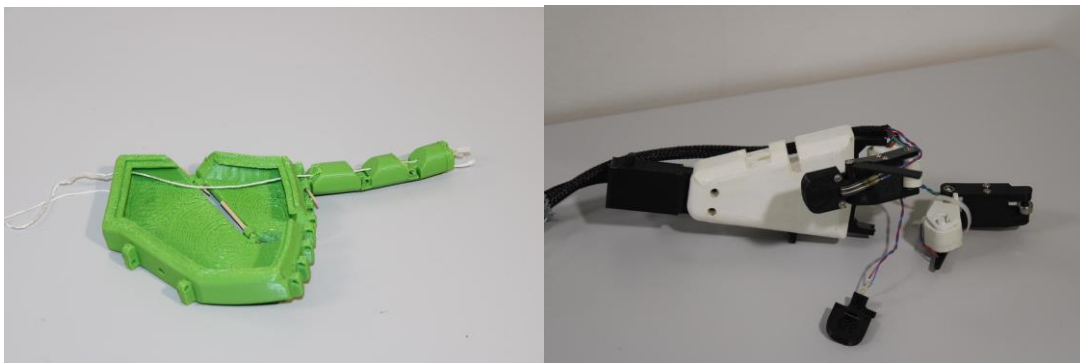
### **Description technique de la main bionique (Version 3) :**

La main bionique, conçue à l'aide du logiciel Fusion 360, présente une architecture avancée de trois phalanges par doigt, chacune équipée de trois articulations, à l'exception du pouce. Cette configuration offre une grande variété de mouvements, allant de la préhension à l'ouverture et la fermeture, reproduisant de manière réaliste la fonctionnalité de la main humaine. Deux plis spécifiques : extension/flexion du pouce, et un pli de deux doigts : D4 et D5, ces articulations sont intégrées au niveau de la paume, renforçant ainsi la polyvalence et la dextérité de la prothèse.

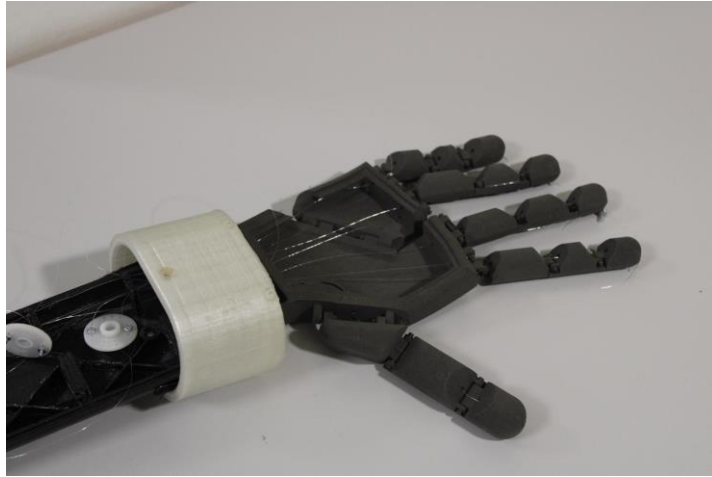


### Évolution de la conception d'une main bionique :

- **Première version :**
- Composition : Main en matériaux plastiques.
- Doigt unique avec 3 phalanges et 3 articulations.
- Paume sans articulation à l'épaule de la main.



- **Deuxième version :**
- Structure : Avant-bras intégré dans un boîtier cylindrique en plastique.
- Main avec impression en poudre, dotée de 5 doigts.
- Une seule articulation au niveau de la paume de la main, matériaux : polymères



- **Troisième version :**

Caractéristiques :

- Partie main et 5 doigts avec 4 articulations (IP, IPP et IPD) et 3 phalanges et, exception faite du pouce avec deux phalanges et deux articulations.
- Impression en poudre via une imprimante 3D.
- La paume de la main dispose de deux articulations.
- Partie avant-bras avec impression 3D en poudre.

Système de contrôle :

- Trois cerveaux moteurs (3/3) sur le coude de l'avant-bras.
- Contrôle des articulations et des mouvements des phalanges.
- Gestion des fils entourant ces phalanges.



**Le problème mécanique à résoudre :**

L'incohérence mécanique observée lors de la création d'articulations réside dans le fait que les fils supérieurs et inférieurs qui entourent chaque doigt ne restent pas parallèles pendant l'articulation. Cela découle d'une déviation dans la trajectoire des fils lorsqu'ils sont sollicités, , ainsi les arcs des fils ne partagent pas le même centre d'arc. Cette déviation est particulièrement accentuée lors de la sollicitation des fils supérieurs ou inférieurs pour initier une articulation, entraînant un impact significatif sur la mécanique globale.

Le défi principal de la conception mécanique réside dans le non-parallélisme des fils supérieurs et inférieurs de chaque doigt lors de la création d'articulations. Lorsqu'on tire les fils du haut, les deux fils, supérieurs et inférieurs, ne restent pas parallèles, résultant d'une déviation dans la trajectoire des fils lorsqu'ils sont sollicités. Ce problème est particulièrement accentué lors de la création de l'articulation.

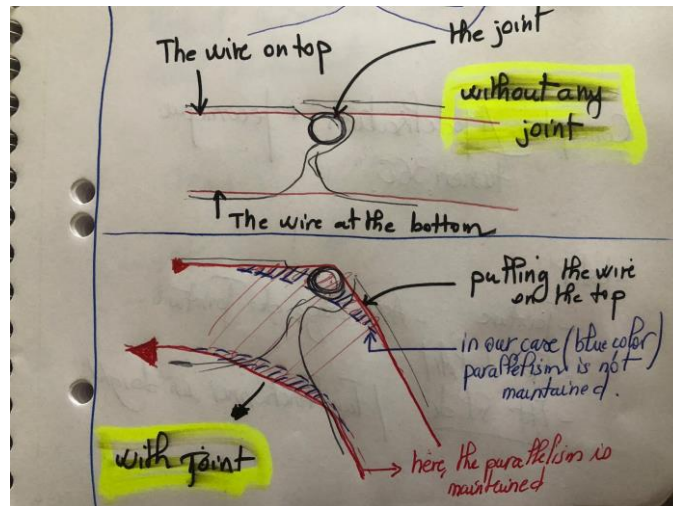


Illustration : Représentation schématique du défi mécanique à résoudre.

### Impact sur les Articulations des Phalanges :

#### **1- Contraintes Inégales :**

La différence des trajectoires peut entraîner des contraintes inégales sur les articulations, ce qui peut causer des problèmes tels que l'usure prématurée ou la défaillance des composants des phalanges.

#### **2- Mouvement Non Uniforme :**

Les différences dans les trajectoires peuvent entraîner un mouvement non uniforme des phalanges, affectant la fluidité et la précision du mouvement de la main bionique.

#### **3- Réduction de l'Efficacité :**

Les trajectoires inégales peuvent réduire l'efficacité globale du système, entraînant une utilisation d'énergie inutile et un fonctionnement suboptimal.

#### **4- Usure et fragilité des composants de la structure**

## **PARTIE 2: CAHIER DES CHARGES DE LA PROBLEMATIQUE MECANIQUE**

### Intégration de Fusion 360 dans le processus de conception :



La conception de la main bionique s'est réalisée à l'aide du logiciel Fusion 360, offrant ainsi une plateforme collaborative pour la modélisation et la simulation. Cette solution permet d'apporter des modifications précises à la conception, d'effectuer des simulations virtuelles pour évaluer le comportement mécanique, et d'itérer rapidement sur les solutions envisagées.

**REMARQUE** : Concernant les ajustements mécaniques à entreprendre, ils seront réalisés soit directement sur la plateforme Fusion 360, soit en convertissant les fichiers pour les traiter sur SolidWorks. Le choix entre ces deux méthodes dépendra du temps disponible pour me familiariser avec le logiciel de conception Fusion 360. En cas de contraintes temporelles, l'option privilégiée sera l'utilisation de SolidWorks.

### Les raisons possibles pour maintenir les fils parallèles :

Le maintien de parallélisme des fils dans une structure mécanique, telle qu'une main bionique, est important pour plusieurs raisons mécaniques.

- 1- **Distribution uniforme des charges** : Lorsque les fils sont parallèles, la charge appliquée est répartie de manière plus uniforme sur l'ensemble des phalanges du doigt. Cela réduit les points de concentration de contrainte, ce qui peut contribuer à prévenir la déformation excessive ou la rupture de composants.

Répartition de la force sur une structure linéaire :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Où :

$\sigma$  est la contrainte

$F$  est la force appliquée sur le fil

$A$  est la section transversale des composants de la phalange.

- 2- **Réduction des contraintes** : Des fils parallèles minimisent les contraintes inutiles sur les composants mécaniques des doigts. Cela peut aider à prolonger la durée de vie des matériaux en évitant des contraintes excessives qui pourraient conduire à la fatigue des matériaux.

Relation entre la contrainte ( $\sigma$ ) et la fatigue des matériaux des phalanges :

$$N_f = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma}$$

Où :

$N_f$  est le nombre de cycles de fatigue des matériaux,

$\sigma_{lim}$  est la limite de contraintes mécaniques

$\sigma$  est la contrainte actuelle.

- 3- **Conservation de l'énergie** : Lors de l'articulation d'une prothèse, des fils parallèles minimisent les pertes d'énergie dues à la friction et à la résistance. Une trajectoire de mouvement optimisée avec des fils parallèles contribue à une meilleure efficacité mécanique.



Travail (W) effectué par une force constante (F) sur une distance (d) :

$$W = F \cdot d$$

- 4- **Précision du mouvement** : Le parallélisme des fils contribue à maintenir la précision du mouvement de la prothèse. Cela est crucial pour reproduire de manière réaliste la fonctionnalité de la main humaine. Des mouvements précis peuvent faciliter la manipulation d'objets et améliorer l'expérience utilisateur

Erreur de position ( $\epsilon_p$ ) due à une force de friction ( $F_f$ ) :

$$\epsilon_p = K \cdot F_f \text{ où } K \text{ est la raideur du système.}$$

- 5- **Stabilité et prévisibilité** : le parallélisme des fils favorise la stabilité et la prévisibilité du système. Lorsque les fils suivent des trajectoires parallèles, les mouvements articulaires sont plus stables, réduisant les risques de déviation indésirable ou de comportement erratique.

Moment de torsion (M) nécessaire pour une articulation stable :

$$M = F \cdot d$$

où

**d** est la distance entre l'axe de rotation et **F** la force appliquée.

- 6- **Réduction de l'usure** : L'usure des composants mécaniques peut être réduite lorsque les fils restent parallèles. Des trajectoires de mouvement cohérentes minimisent les forces latérales qui pourraient accélérer l'usure des surfaces de contact.

Relation entre la force latérale ( $F_{lat}$ ) et l'usure (W) :

$$W = F_{lat} \cdot d \text{ et : } d \text{ représente la distance sur laquelle la force latérale est appliquée}$$

### Solutions mécaniques envisageables à apporter :

#### **1- Optimisation de la trajectoire des fils :**

Utilisation de l'outil de modélisation (Fusion360) de modélisation dans Fusion 360 pour ajuster la trajectoire des fils. Assurez-vous que les guides de fil sont conçus de manière à minimiser la déviation pendant l'articulation.

Minimiser les frottements entre les fils et les composants lors du déplacement des fils et garantir une distribution uniforme des forces, favorisant ainsi le parallélisme des fils.

#### **2- Simulation mécanique :**

Utilisation des fonctionnalités de simulation de Fusion 360 pour analyser le comportement mécanique de la main bionique en action. Cela pourrait m'aider à identifier les points de déviation et à ajuster la conception en conséquence.

### **3- Utilisation de mécanismes de guidage supplémentaires :**

Ajoutez des mécanismes de guidage supplémentaires pour maintenir le parallélisme des fils. Ces composants peuvent guider les fils tout au long de leur déplacement, minimisant ainsi les déviations, assurant ainsi le maintien du parallélisme.

### **4- Utilisation de Guides ou de Roulements :**

Intégrer des guides ou des roulements pour contrôler et maintenir les trajectoires des fils pendant l'articulation, assurant ainsi le maintien du parallélisme.

### **5- Analyse des Contraintes Mécaniques :**

Utiliser des simulations mécaniques pour analyser comment les contraintes mécaniques influencent les trajectoires et effectuer un ajustement de la conception en conséquence.