



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE DES ELECTRONIQUE

Projet soutenu dans le cadre de l'arrêté 1275



MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN ELECTRONIQUE

Option : électronique des systèmes embarqués

Par : **AIT OUALI FATIHA**

Intitulé du sujet

Prothèse d'une main contrôlée par signaux EMG

Soutenu le 20/07/2023 devant le jury composé de :

Année Universitaire 2022/2023

Président :	M BENOUALI Abdelhak	FST GE Université de Mostaganem
Examineur 1:	M BENTOUMI Mohamed	FST GE Université de Mostaganem
Représentant de l'incubateur	M DAHOU ben Mestafa	Représentant de l'incubateur
Représentants de partenaire socioéconomique	M ELMOULOU Naim	Directeur d'hôpital
	M DIDOUNA Samir	Specialiste en rééducation fonctionnelle
Rapporteur :	M REBHI Mustapha	FST GE Université de Mostaganem

Co-rapporteur :

M ABDELAOUI Nasreddine

FST GE Université de Mostaganem

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail de fin d'étude à mes très chers parents qui m'ont encouragée et cru en moi.

A mes chères sœurs : Meriem et Sarah

Je dédie également ce travail à ma famille et mes amis ainsi qu'à ma promotion M2 ESE et à toutes mes connaissances au sein de la Faculté des Sciences et de la Technologie des différentes spécialités.

A tous ceux qui me sont chers.

Remerciment

Je remercie dieu pour m'avoir donné courage, savoir et volonté à fin d'accomplir ce projet.

Mes remerciements tout particulièrement à :

Mr Rebhi Mustapha mon encadrant principal

Mr Abdelaoui Nesradine (co-encadrant)

Mr Dahou ben Mestafa

Et à toute personne qui m'a aidé dans ce projet.

J'exprime ma gratitude envers les enseignants de la Faculté des Sciences et de la Technologie, et spécialement ceux du Département de Génie électrique. Je souhaite également remercier chaleureusement tous les étudiants de notre Faculté, en particulier mes camarades de classe avec qui j'ai partagé cinq années exceptionnelles.

Mots clés :

Prothèse de la main- Arduino- Electromyographie- Electrode- servomoteur-
Mouvement- Apprentissage- programmation-interface utilisateur.

Résumé

La prothèse d'une main est un dispositif artificiel destiné à remplacer un membre supérieur (main et poignet) perdu, il est piloté grâce à l'acquisition de signaux électromyographiques (EMG) via des électrodes.

Les anciennes prothèses en matière plastique n'offrent pas de possibilité de mobilité donc elles ne servent seulement qu'à des fins d'esthétiques. Malgré leur coût élevé, les prothèses récentes sont plus performantes. Cette innovation artificielle vise à être à la fois plus efficace et économique, ce qui la rend plus accessible.

Abstract

The hand prosthesis is an artificial device intended to replace a lost upper limb (hand and wrist). It is controlled by the acquisition of electromyographic signals (EMG) via electrodes.

Old plastic prostheses do not offer the possibility of mobility so they only serve aesthetic purposes. Despite their high cost, recent prostheses are more efficient. This artificial innovation aims to be both more efficient and economical, making it more accessible.

المخلص

الطرف الاصطناعي لليد هو جهاز اصطناعي يهدف إلى استبدال الطرف العلوي المفقود (اليد والمعصم)، ويتم التحكم فيه عن طريق الحصول على إشارات تخطيط كهربائية العضل (EMG) عبر الأقطاب الكهربائية.

الأطراف الصناعية البلاستيكية القديمة لا توفر إمكانية الحركة لذا فهي تخدم الأغراض الجمالية فقط. على الرغم من تكلفتها العالية، فإن الأطراف الاصطناعية الحديثة أكثر كفاءة. ويهدف هذا الابتكار الاصطناعي إلى أن يكون أكثر كفاءة واقتصادية، مما يجعله أكثر سهولة في الوصول إليه.

Sommaire

Introduction générale

CHAPITRE I : Généralités et mécanismes

Introduction	7
I-1 Qu'est-ce qu'une prothèse	7
I-1-1 Mécanismes de la main	8
I-1-2 Muscle	9
I-2 L'Electromyographie	10
I-2-1 Description de l'électromyogramme	10
I-2-2 La mesure des signaux EMG	11
I-2-3 Types d'électrodes	12
I-2-4 Le placement des electrodes	13
I-2-5 Contrôle par carte Arduino	14
I-2-6 Les servomoteurs	14
I-2-7 Les EMGs AD8226	16
I-2-8 Carte Arduino uno	18
I-2-9 Les servomoteurs MG995	20

CHAPITRE II : programmation

Introduction	21
II-1 Language ARDUINO	21
II-2 L'organigramme	22

CHAPITRE III : Design, réalisation et mise en œuvre de la prothèse.

Introduction	26
III-1 Le logiciel utilisé pour l'impression de la prothèse	27
III-1-1 Quelques dimensions des pièces	28
III-1-2 La main en 3D	29
III-1-3 Les pièces de la main et leurs placements	29
III-1-4 L'assemblage de la main et les composants	30
III-2 Démonstration et schéma d'acquisition du signal EMG	31
III-3 Circuit shematic	32
III-4 La prothèse	33
III-5 Le signal EMG et la commande de la prothèse	33
III-5-1 Etat de repos	33
III-5-2 Commentaire	34
III-5-3 Etat de contraction	34
III-5-4 Commentaire	35

III-6 Les résultats finaux	35
Conclusion du chapitre	36
Conclusion générale	38

Les table des figures

Figure I-1- Mécanisme de la main	9
Figure I-2- Les muscles d'un avant-bras au repos	10
Figure I-3- Les types d'électrodes	12
Figure I-4- Sonde EMG utilisée	17
Figure I-5- Carte Arduino UNO	18
Figure I-6- Série de servomoteurs MG995	20
Figure II-Interface du logiciel Arduino	23
Figure III-1-Logiciel ultimaker	26
Figure III-2- Différentes composantes de la main	27
Figure III-3- Impression en 3D des différentes pièces de la prothèse	28
Figure III-4- Les pièces de la main et leurs placements	29
Figure III-5- Assemblage de la main	30
Figure III-6- Schéma d'acquisition du EMG	31
Figure III-7- Circuit schematic	32
Figure III- 8- La protèse	33
Figure III-9- Etas de repos	34
Figure III-10- Etas de contraction	35
Figure III-11- Les résultats finaux	36

Introduction générale :

Les progrès remarquables de la recherche médicale et l'amélioration continue des services de santé publique et privée, ainsi que l'utilisation croissante des technologies d'assistance telles que les fauteuils roulants, les dispositifs d'écoute pour les malentendants et les technologies portables, ont considérablement contribué à la réalisation de l'objectif universel de vivre longtemps et en bonne santé. Les prothèses, qui sont des dispositifs conçus pour remplacer une partie du corps, pallier une défaillance ou traiter une maladie, sont largement utilisées dans les traitements traumatologiques et orthopédiques en tant qu'exemples d'aides techniques.

Le but principal de cette étude est de développer un système de contrôle basé sur les signaux EMG, capable de détecter et interpréter les différents mouvements de la main de l'utilisateur pour faire fonctionner une main bionique imprimée en 3D. Cette intervention serait particulièrement bénéfique pour les personnes handicapées au niveau huméral, leur offrant ainsi la possibilité d'interagir avec leur environnement.

Il s'inscrit dans un domaine d'innovation et de technologie de pointe, qui est étudié en laboratoire. Le mémoire est organisé en trois chapitres.

Le premier chapitre présente une description de l'électromyogramme (EMG) ainsi, la vue d'ensemble du mécanisme de notre projet de fin d'études (PFE). D'autre part, le deuxième chapitre se concentre sur la programmation et les sous-programmes de notre projet. Ensuite, le chapitre 3 décrit le design les étapes de réalisation de la prothèse.

Pour finir, notre mémoire se termine par la conception d'un système EMG utilisant une carte ARDUINO UNO et un ensemble de composants d'instrumentation pour contrôler l'ouverture et la fermeture d'une prothèse.

CHAPITRE I : Généralités et mécanismes

Introduction :

Dans ce premier chapitre, d'une part , on va décrire d'une façon générale la relation entre une prothèse et les muscles, cette relation dépend du type de prothèse et de son mode de fonctionnement. Les prothèses modernes sont conçues pour fonctionner en harmonie avec les muscles du corps afin de fournir une fonctionnalité optimale. D'autre part, on va aborder la manière dont la prothèse peut être conçue et optimisée pour améliorer ses performances et réduire la fatigue musculaire. Nous examinerons également les éléments nécessaires à la mise en place de l'électromyographie (EMG) pour évaluer l'activité musculaire lors de la contraction. L'électromyographie peut être utilisée pour mesurer l'activité électrique des muscles résiduels pour contrôler la prothèse et évaluer la fonction musculaire.

I-1 Qu'est-ce qu'une prothèse:

Une prothèse est un dispositif médical qui est conçu pour remplacer, soutenir ou améliorer une partie manquante ou endommagée du corps humain. Les prothèses peuvent être externes ou internes, permanentes ou temporaires, et sont souvent personnalisées pour s'adapter au corps de chaque patient. Les prothèses modernes sont conçues pour être confortables, légères et fonctionnelles, et sont souvent équipées de capteurs et de mécanismes qui permettent de les contrôler électroniquement.

L'histoire de la prothèse remonte à l'Antiquité, où les amputations étaient courantes en raison des guerres et des maladies. Les Égyptiens ont été les premiers à

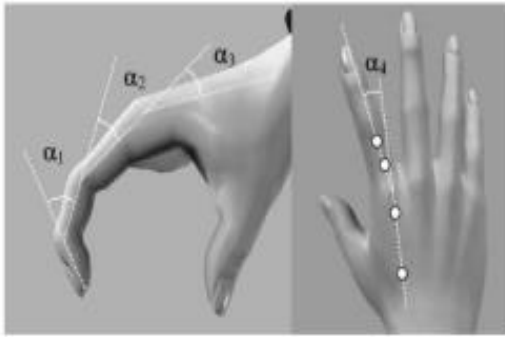
développer des prothèses pour remplacer les membres manquants. Au cours de la Première Guerre mondiale, l'utilisation de prothèses est devenue encore plus répandue en raison du grand nombre de blessés qui ont perdu un membre du corps sur le champ de bataille. Les prothèses ont été considérablement améliorées pendant cette période, avec des innovations telles que la prothèse en métal et en cuir brevetée par l'ingénieur français Charles de l'Épée en 1917.

Les prothèses ont continué à évoluer rapidement avec l'arrivée de matériaux légers et résistants tels que le titane et le carbone. Les avancées technologiques ont également permis le développement de prothèses électroniques, qui peuvent être contrôlées par les mouvements musculaires du patient.

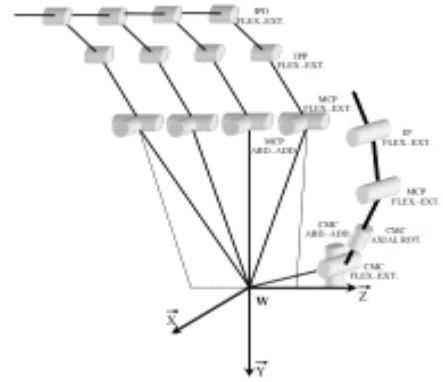
I-1-2 Mécanismes de la main :

La façon dont l'épaule s'articule permet au bras de bouger dans presque toutes les directions. Les mains, quant à elles, permettent la préhension d'objet. Autrement dit, le nombre élevé de petits os dans une main la rend suffisamment agile pour prendre des objets, cf. fig.I-1.

La main est l'organe de préhension chez l'homme qui lui permet de manipuler des objets de tailles et de formes diverses et variées grâce à sa flexibilité et sa maniabilité, comme illustrée sur la fig. I-1-a. Elle lui permet également d'effectuer des tâches, parfois d'une grande complexité, avec force ou finesse. Il s'agit d'un outil d'une importance cruciale au quotidien, elle est souvent modélisée comme le montre la fig. I-2-b.



a- Exemple d'une main naturelle
Figure I-1- Mécanisme de la main¹



b- Modélisation des axes d'une main

I-1-3 Muscle :

Tout muscle est un ensemble de tissus du corps humain capables de se contracter et de produire un mouvement, composés principalement de fibres musculaires. Il assure notamment le déplacement des segments corporels, la contraction cardiaque ou encore les fonctions de vasoconstriction/ vasodilatation. Un tissu musculaire est composé de cellules musculaires appelées myocytes ou fibres musculaires.

¹ Source : Ms.Aut.Mezouari+Lasri.pdf

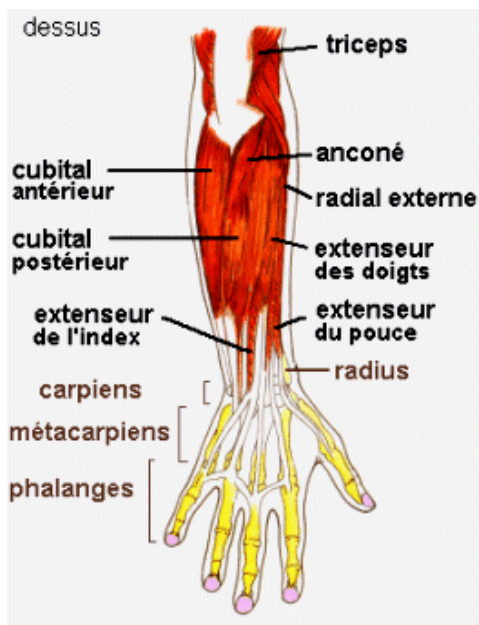


Figure I-2- Les muscles d'un avant-bras au repos²

I-2 L'Electromyographie :

L'Electromyographie (EMG) est une technique utilisée pour mesurer l'activité électrique des muscles. L'EMG mesure l'activité électrique des fibres musculaires à l'aide d'un électromyographe, un appareil utilisant des électrodes pour capter les signaux électriques produits par les muscles pendant leur contraction ou relâchement. L'EMG est souvent utilisé en médecine pour diagnostiquer les maladies neuromusculaires et les troubles musculaires. Elle peut également être utilisée pour évaluer les performances musculaires des athlètes et pour surveiller les progrès de la réadaptation après une blessure.

2

https://decathlondom.franceolympique.com/decathlondom/fichiers/pages/fiches_techniques/sante/muscles/muscles-bras.htm

Cette technique est également utilisée dans les domaines de la robotique et de la technologie de l'interface cerveau-machine pour contrôler les mouvements d'un robot ou d'une prothèse en utilisant les signaux électriques produits par les muscles du corps. Dans ces applications, l'EMG est utilisée pour capter les signaux électriques des muscles du bras ou de la main, par exemple, qui sont ensuite utilisés pour contrôler les mouvements d'un robot ou d'une prothèse.

I-2-1 Description de l'électromyogramme:

C'est un test qui mesure l'activité électrique des muscles et des nerfs qui les contrôlent. Il s'agit d'un examen non invasif qui utilise des électrodes placées sur la peau dans le muscle pour mesurer l'activité électrique.

Il peut être utilisé pour diagnostiquer des troubles neuromusculaires tels que la sclérose en plaques, la dystrophie musculaire. Il peut également être utilisé pour évaluer les troubles musculaires tels que les spasmes et les crampes. Le test se déroule en plusieurs étapes. Tout d'abord, des électrodes sont placées sur la peau ou insérées dans le muscle pour enregistrer l'activité électrique. Ensuite, le patient est invité à contracter le muscle, soit en effectuant des mouvements, soit en maintenant une position fixe. Pendant cette contraction, l'activité électrique est enregistrée.

I-2-2 La mesure des signaux EMG:

Pour mesurer les signaux EMG, il existe deux grandes catégories d'électrodes : les électrodes de surface et les électrodes à aiguille.

Les électrodes de surface sont des électrodes non invasives placées sur la peau au-dessus du muscle à étudier. Elles captent les signaux EMG générés par l'activité musculaire. Les électrodes de surface sont faciles à utiliser et non invasives, mais elles

peuvent être moins précises que les électrodes à aiguille.

Les électrodes à aiguille sont des électrodes invasives insérées directement dans le muscle. Elles peuvent fournir des informations plus précises sur l'activité musculaire que les électrodes de surface, mais elles sont plus invasives et nécessitent une expertise pour être utilisées correctement.

Les données EMG peuvent fournir des informations précieuses sur l'état des muscles, telles que l'amplitude et la fréquence des contractions musculaires, qui peuvent être utilisées pour évaluer la force musculaire, la fatigue musculaire et l'activité neuromusculaire.

I-2-3 Types d'électrodes :

- Les électrodes gélifiées :

Elles sont un type d'électrode utilisé en électrophysiologie pour mesurer l'activité électrique des muscles et des nerfs. Elles sont faciles à utiliser, adhèrent bien à la peau, réduisent les artefacts électromagnétiques et sont souvent utilisées en combinaison avec d'autres types d'électrodes pour obtenir une analyse complète de l'activité électrique. la figure I-3-a représente ce type

- Les électrodes sèches :

Elles sont un type d'électrodes utilisé en électrophysiologie pour mesurer l'activité électrique des muscles et des nerfs. Elles sont pratiques et faciles à utiliser, mais peuvent avoir une adhérence moindre à la peau et nécessiter une amplification plus importante pour obtenir des mesures précises. la figure I-3-b représente ce type.

- Les électrodes à aiguilles :

Elles sont des électrodes utilisé pour enregistrer l'activité électrique des muscles en profondeur. Elles permettent une analyse fine de l'activité électrique des fibres musculaires individuelles, mais nécessitent une certaine expertise et peuvent être plus douloureuses et plus fatigantes pour le patient. La figure I-3-c représente ce cas



a- électrode gélifiée



b- électrode sèche



c- électrodes à aiguille

Figure I-3-Les types d'électrodes³

I-2-4 Le placement des électrodes :

Le placement des électrodes est une des étapes importantes dans la mesure de l'activité électrique de la structure nerveuse ou musculaire. Les électrodes sont utilisées pour capter les signaux électriques émis par les cellules nerveuses ou musculaires et les transmettre à un amplificateur pour être enregistrés. Il existe deux principaux types de placement des électrodes: invasif et non invasif. Le placement des électrodes invasif est généralement réalisé en introduisant des électrodes à aiguilles dans les tissus musculaires ou nerveux. Cela permet de capter les signaux électriques de manière très précise, mais cette méthode nécessite des compétences et des équipements spécialisés.

³ Source : mémoire de Kermiche Abdelkadir et Abd El kebir Ammar.

Elle est généralement utilisée en recherche ou en diagnostic médical. Le placement des électrodes non invasif est une méthode plus courante: Les électrodes sont placées à la surface de la peau, généralement sur des points de mesure préétablis, en utilisant des patches adhésifs ou des ceintures élastiques. Cette méthode est plus simple et plus sûre, mais elle est moins précise que la méthode invasive.

Une fois les électrodes placées, elles doivent être connectées à un amplificateur qui amplifie les signaux électriques captés et les convertit en une forme qui peut être enregistrée. Les signaux sont ensuite enregistrés sur un ordinateur ou un appareil d'enregistrement pour être analysés.

I-2-5 Contrôle par carte Arduino:

Une carte Arduino est une carte électronique basée sur un microcontrôleur programmable qui est le cœur de la plateforme Arduino. Elle est conçue pour faciliter la création de projets électroniques interactifs en fournissant une plateforme matérielle facile à utiliser et à programmer. Elle est généralement composée d'un microcontrôleur, d'une horloge, d'un régulateur de tension, d'un connecteur USB, d'un certain nombre de broches d'entrée/sortie et de divers autres composants électroniques. Les broches d'entrée/sortie peuvent être utilisées pour connecter des capteurs, des actionneurs et d'autres composants électroniques à la carte Arduino

Il existe de nombreuses variantes de cartes Arduino, chacune ayant des fonctionnalités et des spécifications différentes, ce qui permet aux utilisateurs de choisir la carte la mieux adaptée à leur projet.

I-2-6 Les servomoteurs:

Un servomoteur est un type de moteur électrique qui est généralement utilisé

dans les applications qui nécessitent un contrôle de position précis, telles que pour les robots. Contrairement à un moteur standard, un servomoteur est équipé d'un mécanisme de commande de position intégré, qui lui permet de maintenir une position précise.

Le mécanisme de commande de position du servomoteur se compose d'un moteur, d'un circuit de commande et d'un ensemble de mécanismes de retour de position, tels qu'un potentiomètre ou un codeur. Le circuit de commande reçoit des signaux de commande du microcontrôleur, qui spécifient l'angle de rotation souhaité pour le servomoteur. Le circuit de commande utilise ensuite les mécanismes de retour de position pour s'assurer que le servomoteur atteint et maintient la position souhaitée. Les servomoteurs sont souvent utilisés dans les systèmes de contrôle de mouvement, où il est important d'avoir un contrôle précis de la position et de la vitesse. Ils sont également couramment utilisés dans les systèmes de télécommande, où ils peuvent être utilisés pour contrôler la direction d'un véhicule à distance, ou pour déplacer une caméra ou un appareil photo dans différentes directions.

I-2-7 Les EMGs AD8226 :

L'AD8226 est un amplificateur d'instrumentation conçu pour les applications d'électromyographie (EMG), permettant d'amplifier de petits signaux électriques générés par les muscles.

1. Architecture d'amplificateur d'instrumentation : Le AD8226 est spécifiquement conçu comme un amplificateur d'instrumentation, offrant une amplification précise et une réjection des signaux de mode commun. Cette architecture permet d'amplifier de petits signaux différentiels tout en atténuant le bruit de fond et les interférences.
2. Faible bruit : Le AD8226 présente une performance de bruit très faible, ce qui est essentiel pour capturer et amplifier des signaux faibles avec précision. Il dispose d'un

faible niveau de bruit de tension référé à l'entrée ainsi que d'un faible niveau de bruit de courant référé à l'entrée.

3. Gain élevé : L'amplificateur offre un gain élevé pouvant être facilement configuré à l'aide de résistances externes. Cela permet à l'utilisateur d'ajuster le gain en fonction des exigences spécifiques de l'application.

4. Faible consommation d'énergie : Le AD8226 fonctionne avec une faible tension d'alimentation et consomme peu d'énergie, ce qui le rend adapté aux applications alimentées par batterie et autres systèmes à faible consommation d'énergie.

5. Plage de tension d'entrée étendue : Il supporte une large gamme de tensions d'entrée, offrant une flexibilité pour s'adapter à différents niveaux de signal.

6. Fonctionnement à simple alimentation : Le AD8226 peut être alimenté à partir d'une seule tension d'alimentation, ce qui simplifie les exigences en matière d'alimentation et facilite son intégration dans différents systèmes.

7. Petit boîtier : Le AD8226 est disponible dans des boîtiers compacts, tels que le SOIC et le MSOP, ce qui le rend adapté aux applications où l'espace est limité.

Le EMG de la référence AD8226 est largement utilisé dans des applications qui nécessitent l'amplification de petits signaux, notamment dans le domaine médical pour la mesure des signaux bioélectriques tels que l'ECG et l'EMG. Il offre un bon équilibre entre les performances, le coût et la consommation d'énergie, ce qui le rend populaire parmi les concepteurs travaillant sur des systèmes d'instrumentation et de mesure.



Figure I-4- Sonde EMG utilisée⁴

I-2-8 Carte Arduino uno :

C'est est une carte de développement qui est basée sur un microcontrôleur ATmega328P. Elle est l'une des cartes Arduino les plus couramment utilisées et constitue un excellent point de départ pour les débutants en électronique et en programmation.

Caractéristiques de la carte Arduino Uno :

- Microcontrôleur : ATmega328P
- Tension de fonctionnement : 5 volts
- Tension d'entrée (recommandée) : 7-12 volts
- Tension d'entrée (limite) : 6-20 volts

⁴ Source : <https://fr.aliexpress.com/item/32910049034.html>

- Broches d'E/S numériques : 14 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
- Broches d'entrée analogique : 6
- Courant continu par broche d'E/S : 20 mA
- Courant continu pour la broche 3,3 V : 50 mA
- Mémoire flash : 32 Ko (dont 0,5 Ko utilisés par le chargeur de démarrage)
- SRAM : 2 Ko
- EEPROM : 1 Ko
- Vitesse d'horloge : 16 MHz

La carte Arduino Uno dispose également d'un connecteur USB qui permet de la programmer et de la connecter à un ordinateur pour communiquer avec d'autres périphériques. Elle est compatible avec l'IDE Arduino, un environnement de développement open-source qui facilite la programmation des cartes Arduino.

La carte Arduino Uno est utilisée pour une variété de projets, tels que le contrôle de moteurs, l'acquisition de données, la domotique, les systèmes de capteurs et bien plus encore. Sa popularité est due à sa simplicité d'utilisation, à sa grande communauté de soutien et à sa large gamme de bibliothèques et de ressources disponibles.

Il convient de noter qu'il existe plusieurs variantes de la carte Arduino Uno, notamment l'Arduino Uno Rev3, qui est la version la plus récente au moment de ma connaissance.

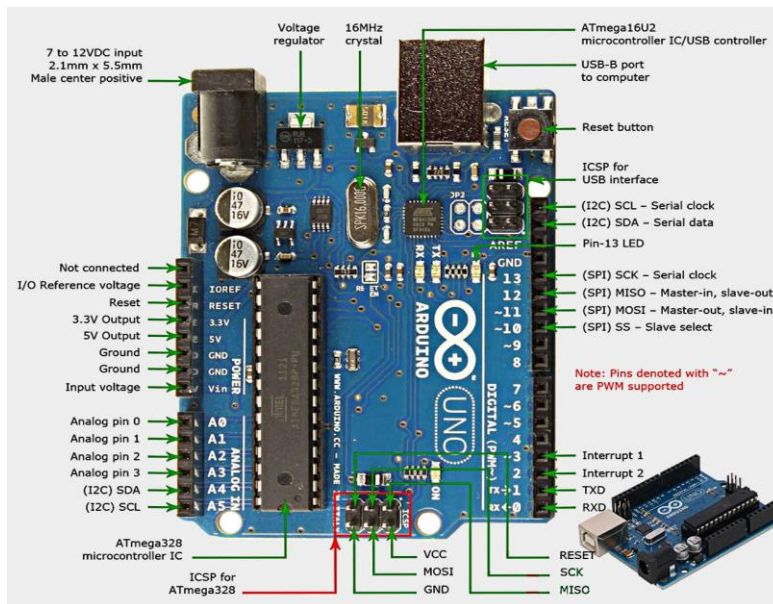


Figure I-5- Carte Arduino UNO⁵

I-2-9 Les servomoteurs MG995 :

Le servomoteur MG995R est un servomoteur populaire utilisé dans de nombreux projets électroniques et robotiques. Voici quelques informations sur le servomoteur MG995R :

1.Caractéristiques électriques :

- Tension de fonctionnement : 4,8 à 7,2 volts (recommandé)
- Tension maximale : 7,2 volts
- Courant de fonctionnement : 500 mA à 900 mA (selon la charge)
- Signal de commande : PWM (Modulation de Largeur d'Impulsion)
- Plage de fréquence de signal : 50 Hz

⁵ Source :

https://www.google.com/search?q=carte+arduino+uno+pins&tbm=isch&ved=2ahUKEwjrkL7hvsz_AhVMnycCHX-uBxcQ2-cCegQIABAA&oeq=carte+arduino+uno+pins&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoHCAAQigUQQzoFCAAQgAQ6BggAEAgQHjoHCAAQGBCAFCEBlisGmCfh2gAcAB4AIABwQOIAaYmkgEJMC4yLjluMC4ymAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&scient=img&ei=QcyOZKvsEsy-nsEP_9yeuAE&bih=694&biw=1517#imgsrc=onnQr1KMzMrtkM

2.Caractéristiques mécaniques :

- Couple de rotation : 9,4 kg/cm à 6 volts, 11 kg/cm à 7,2 volts
- Vitesse de rotation : 0,17 s/60° à 6 volts, 0,14 s/60° à 7,2 volts
- Angle de rotation : 180 degrés
- Engrenages : Métal
- Dimensions : 40,7 mm x 19,7 mm x 42,9 mm
- Poids : Environ 55 g

3.Contrôle du servomoteur :

- Le servomoteur MG995 est contrôlé par des signaux de modulation de largeur d'impulsion (PWM). Le signal de commande PWM est généralement fourni par un microcontrôleur ou un circuit électronique capable de générer des signaux PWM.
- La durée de l'impulsion PWM détermine la position de l'arbre du servomoteur. Une impulsion de courte durée positionnera l'arbre dans un sens, tandis qu'une impulsion de longue durée le positionnera dans l'autre sens. Une impulsion de durée moyenne le maintiendra en position neutre.

4.Utilisations courantes :

- Le servomoteur MG995 est largement utilisé dans les projets de robotique pour contrôler les mouvements des bras robotiques, les mécanismes de direction, les têtes panoramiques, etc.
- Il est également utilisé dans les projets de modélisme, tels que les avions radiocommandés, les voitures télécommandées, les bateaux, etc.
- En raison de sa puissance et de son couple élevés, il peut également être utilisé dans des projets nécessitant un mouvement précis ou une certaine force.

Il est important de noter que le servomoteur MG995 peut nécessiter une alimentation électrique suffisamment puissante pour fonctionner correctement, en particulier lorsqu'il est soumis à des charges importantes. Veillez à choisir une source d'alimentation appropriée pour votre projet et à respecter les spécifications du servomoteur pour éviter tout dommage.



Figure I-6- Série de servomoteurs MG995⁶

⁶ Source : <https://udvabony.com/product/mg995-metal-gear-servo/>

Chapitre 2 : Programmation

Introduction :

Dans ce chapitre seront présentés le programme principal et les sous programmes des fonctions utilisées dans le code en utilisant des organigrammes qui nous faciliteront une meilleure appréhension du fonctionnement du système conçu.

II-1 Language ARDUINO :

Arduino est un langage de programmation pour les microcontrôleurs Arduino. Il est basé sur le langage de programmation C et C++, et est spécialement conçu facile à utiliser pour les débutants en programmation aussi bien que pour les professionnels.

Le code Arduino est généralement écrit dans l'IDE (environnement de développement intégré) Arduino, qui fournit une interface conviviale pour la programmation et le téléchargement du code sur la carte Arduino.

Le code Arduino se compose de deux fonctions principales, `setup()` et `loop()`. La fonction `setup()` est exécutée une seule fois au début du programme et est utilisée pour initialiser les variables et les ports d'entrée/sortie. La fonction `loop()`, quant à elle, est exécutée en boucle après la fonction `setup()` et est utilisée pour le traitement continu des données et des événements.

Le langage Arduino comprend également des bibliothèques de fonctions pré-écrites pour des tâches courantes telles que la communication série, la gestion des ports d'entrée/sortie et l'utilisation de capteurs et d'autres périphériques.

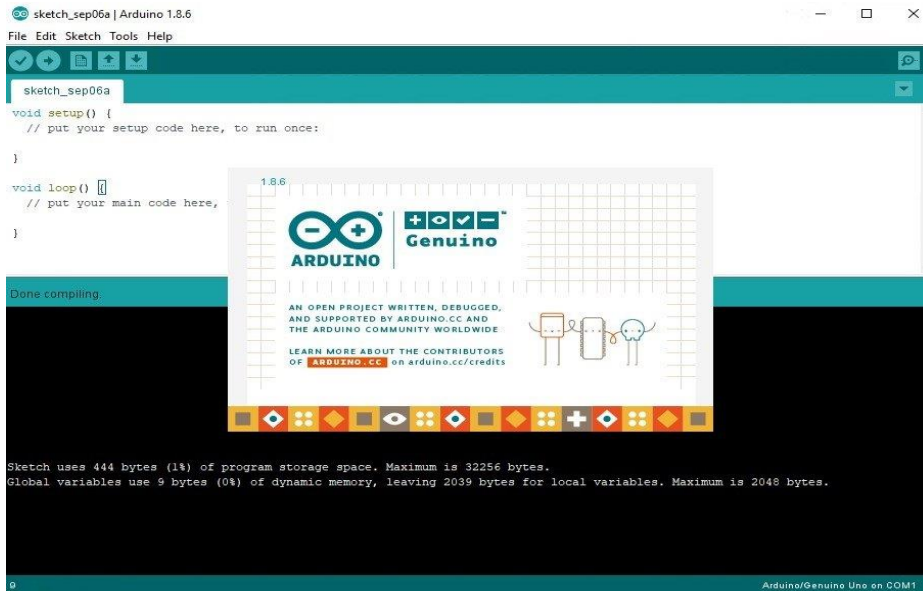
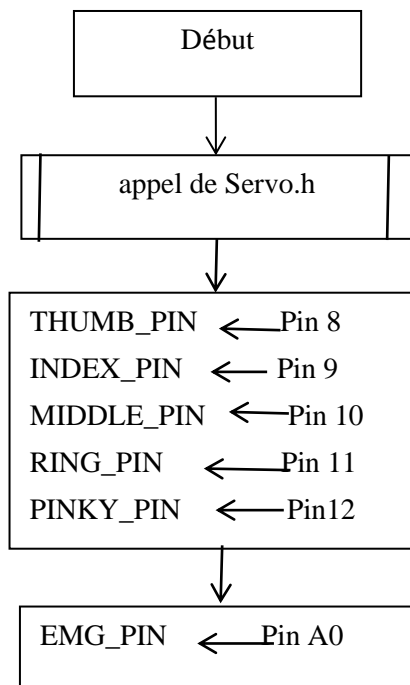


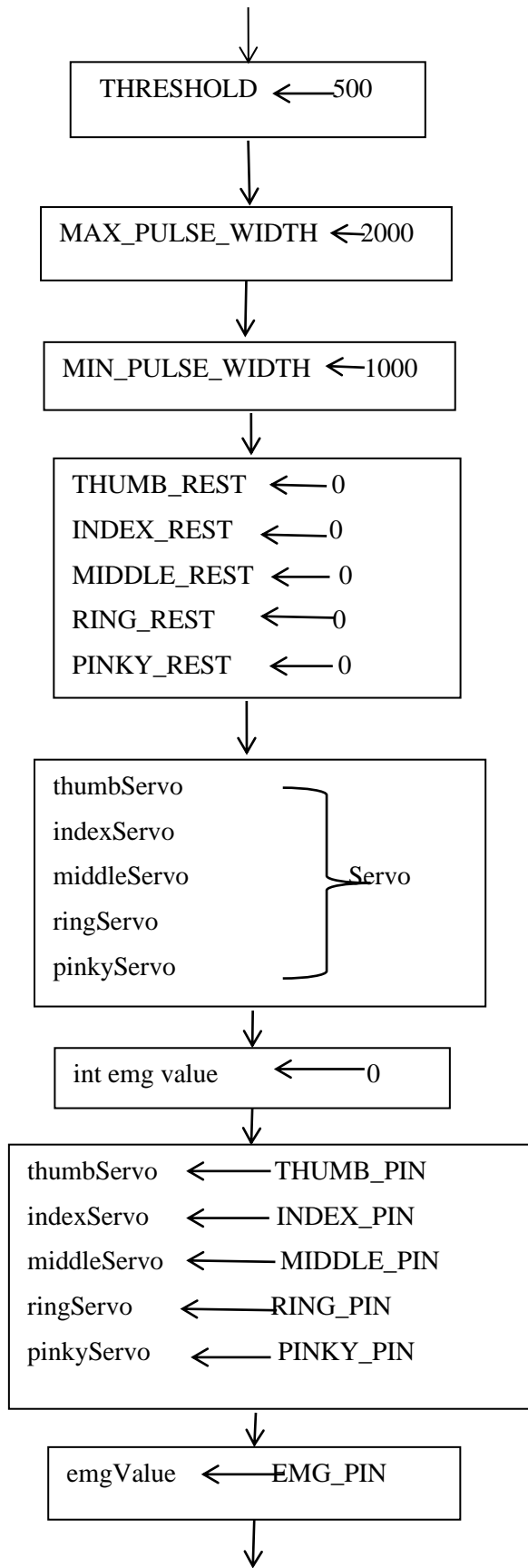
Figure II-Interface du logiciel Arduino⁷

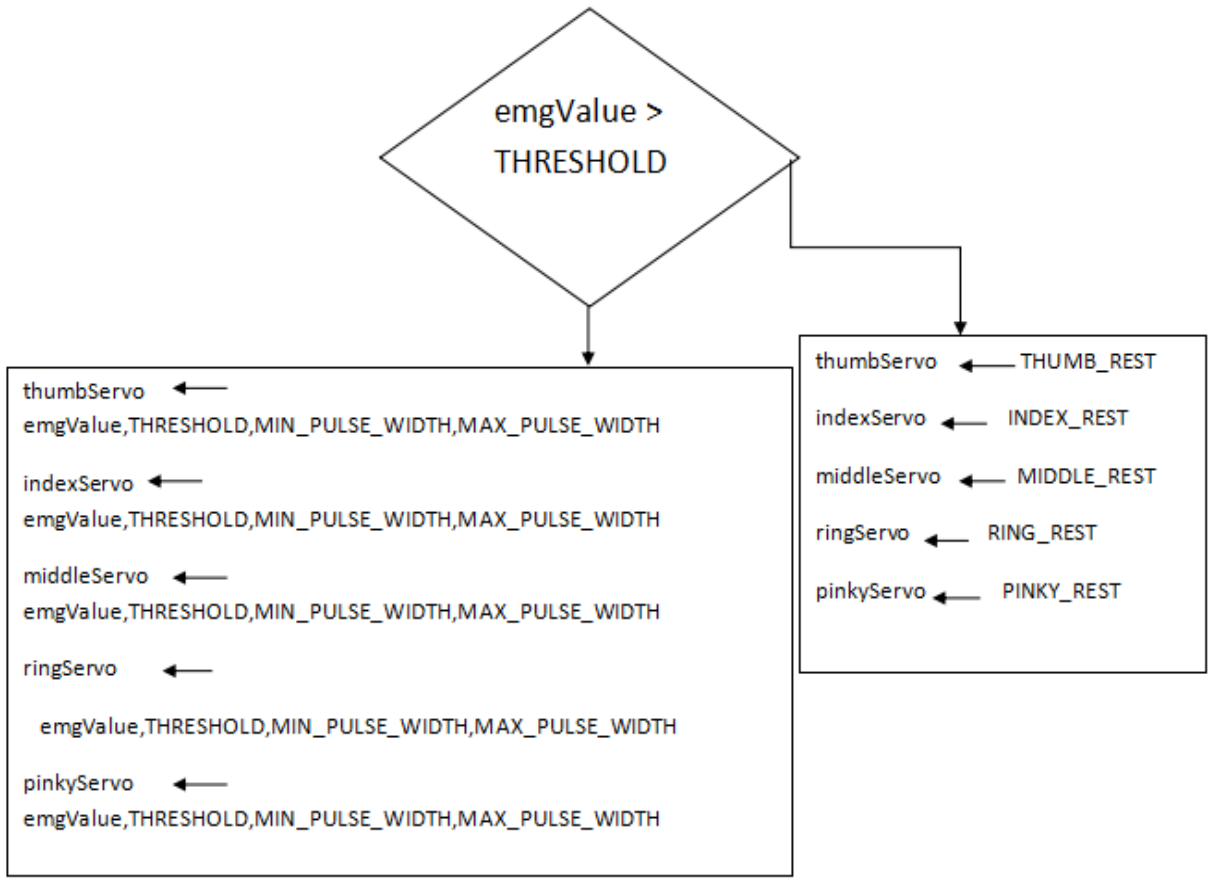
II-2 L'organigramme de la commande de position des servos :



⁷ Source :

https://www.google.com/search?q=logiciel+arduino&rlz=1C1AVFB_frDZ1035DZ1035&sxsrf=APwXEdeFSTIYIAxtGXdyhlA1QGyCfTMvcQ:1682804058363&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjN9_QhdD-AhVSUKQEZHjgCUoQ_AUoAXoECAEQAw#imgsrc=MCAWh9IXUFGI4M





CHAPITRE III : Design, réalisation et mise en œuvre de la prothèse.

Introduction:

Dans ce chapitre, on décrit la réalisation de la prothèse en utilisant le logiciel de modélisation 3D UltiMaker Cura qui est gratuit et open source utilisé pour préparer les fichiers de modèles pour l'impression sur imprimantes 3D (compatible avec une grande variété d'imprimantes 3D). Il est principalement utilisé pour la préparation des fichiers STL (STL : STereoLithography, Standard Triangle Language ou même Standard Tessellation Language est une représentation en 3D d'un objet, créé en subdivisant la surface de l'objet en triangles plats. Les fichiers STL sont des fichiers de maillage de surface qui décrivent la géométrie d'un objet en termes de points de sommets, d'arêtes et de faces de triangle. Les imprimantes 3D peuvent utiliser des fichiers STL pour produire physiquement une pièce en plastique ou en métal) pour l'impression, ce qui comprend des fonctionnalités telles que la modification des paramètres d'impression, la génération de supports pour les parties complexes, et la découpe du modèle en tranches pour une impression en couches. UltiMaker Cura offre également la possibilité de personnaliser les paramètres d'impression en fonction de la machine et des matériaux utilisés.

Après l'impression, nous passons à l'assemblage et à l'emplacement précis de chaque pièce afin de construire la prothèse de la main.

III-1 Le logiciel utilisé pour l'impression de la prothèse :

La figure III-1 montre le logiciel dont on a utilisé pour le fichier de la prothèse



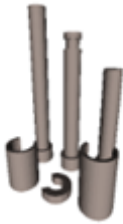
Figure III-1-Logiciel ultimaker

III-1-1 Quelques dimensions des pièces :

Il a été procédé à l'impression des différentes composantes de la prothèse comme illustrées sur la figure III-2.



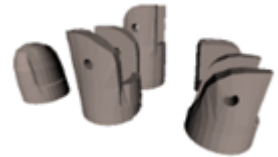
a- Auriculaire



b- Boulon
entretoise



c- Index



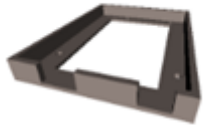
d- Majeur



e- Poignet large



f- Poignet étroit



g- Support de la carte Arduino Mini



h- Couvre-doigts

Figure III-2- Différentes composantes de la main⁸

III-1-2 La main en 3D :

Voici quelques images des pièces au cours de l'impression comme le montre la figure III-3



⁸ Source : inmoov

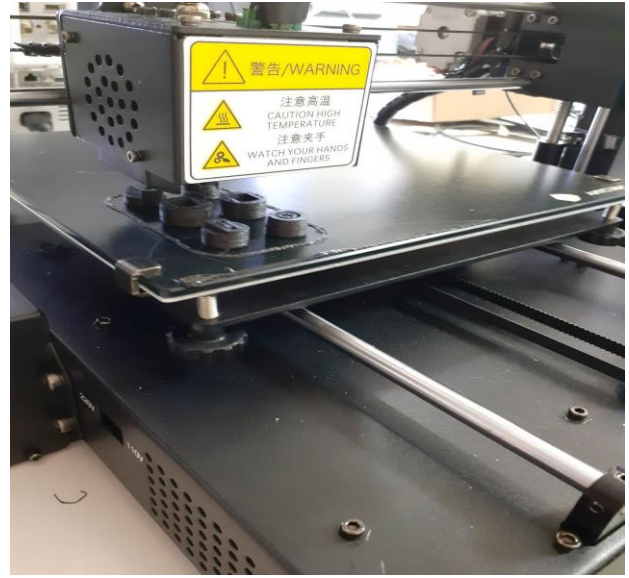
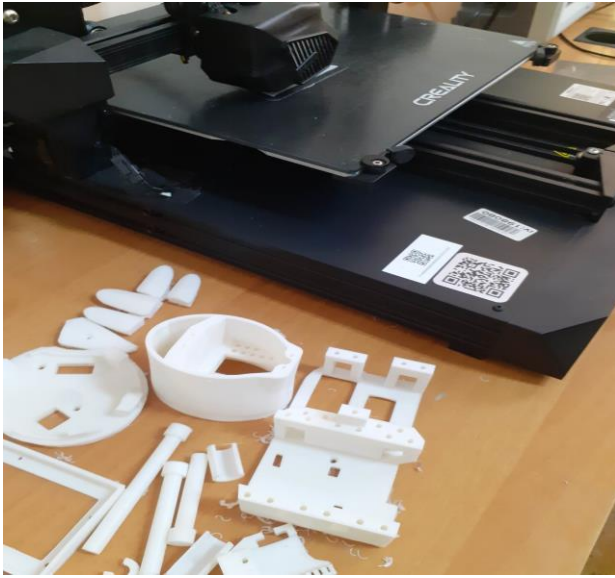


Figure III-3- Impression en 3D des différentes pièces de la prothèse

III-1-3 Les pièces de la main et leurs placements:

La figure III-4 montre en détails toutes les pièces de la prothèse et leurs placements.

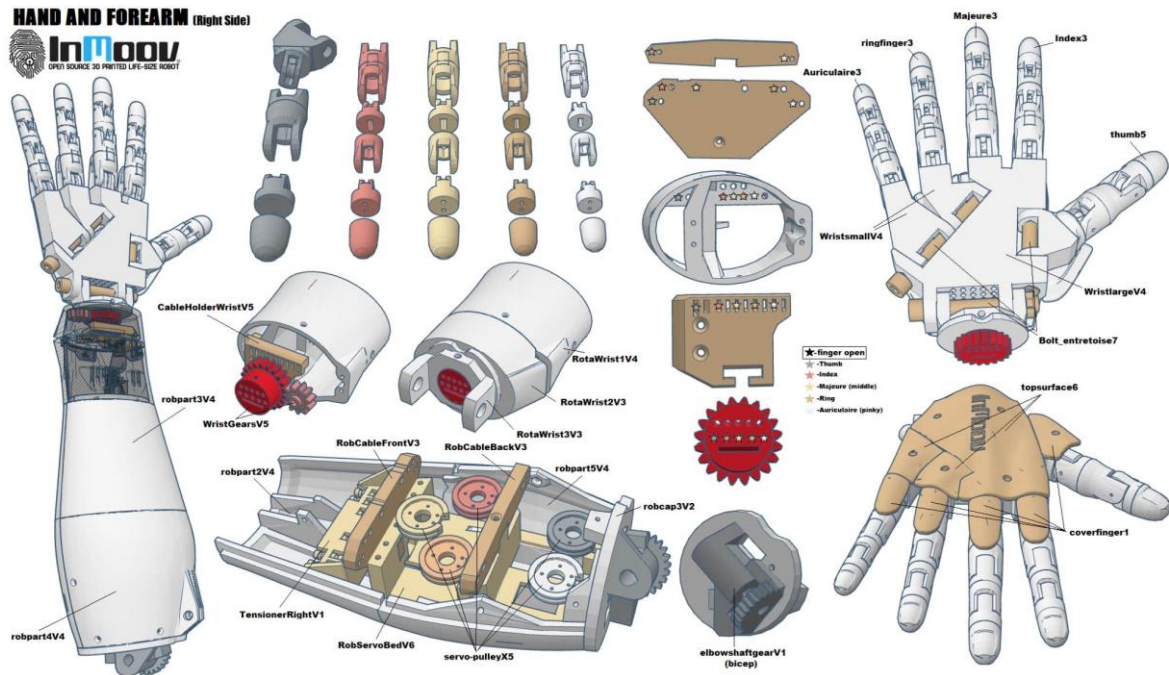
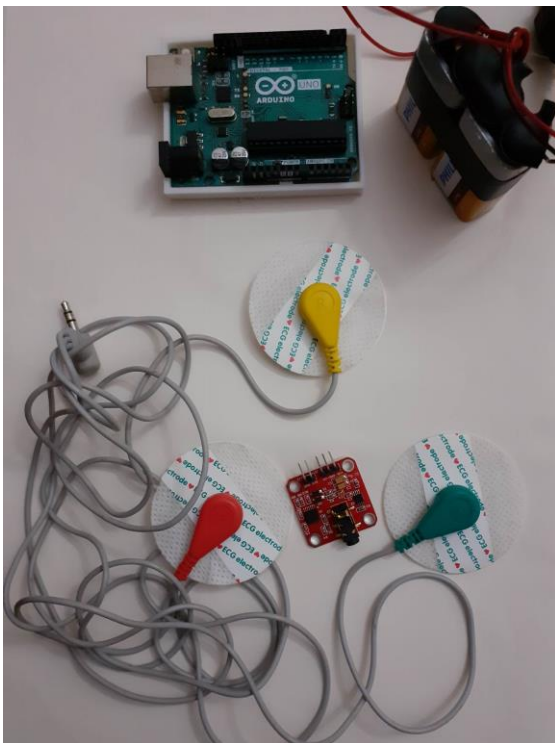


Figure III-4-Les pièces de la main et leurs placements.⁹

III-1-4 L'assemblage de la main et les composants :

Dans cette partie la figure III-5 représente quelques photos de l'assemblage de nos composants avec la prothèse



⁹ Source: inmoov.

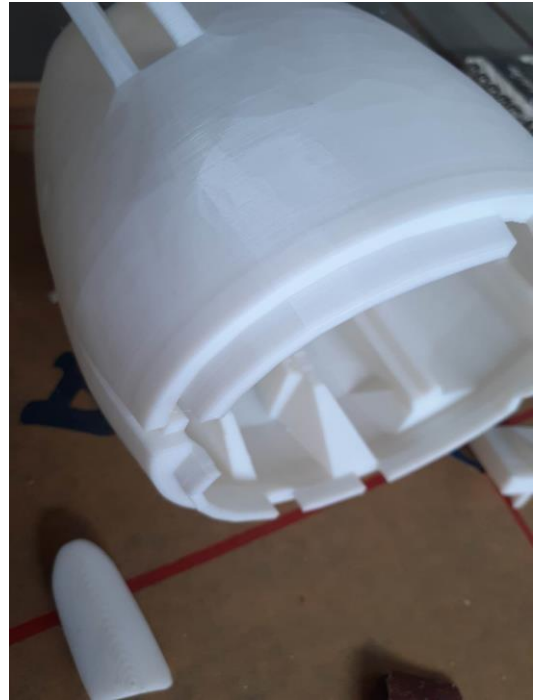


Figure III-5- Assemblage de la main

III-2 Démonstration et schéma d'acquisition du signal EMG :

La figure III-6 représente le placement du EMG :

le VS+ va être branché avec le +9V

le VS- est placé avec le -9V

Le ground est placé avec le (+ , -) de la pile . Ensuite, le signal et le ground sont branchés directement à la carte ARDUINO UNO.

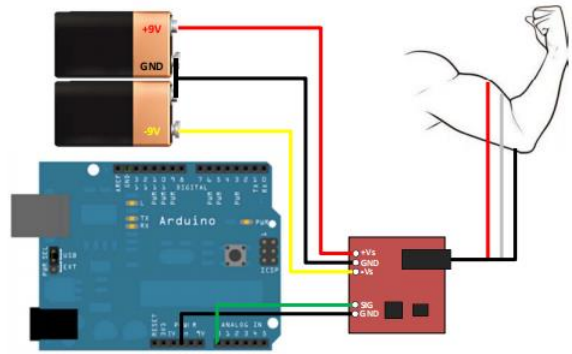
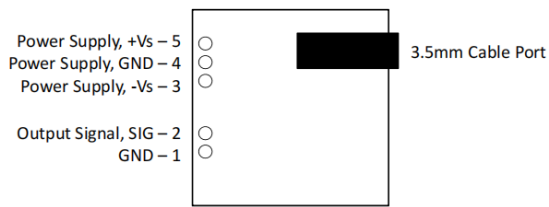


Figure III-6-Schéma d'acquisition du EMG¹⁰

III-3 Circuit Schematic : (La figure III-7) montre la représentation du circuit du EMG

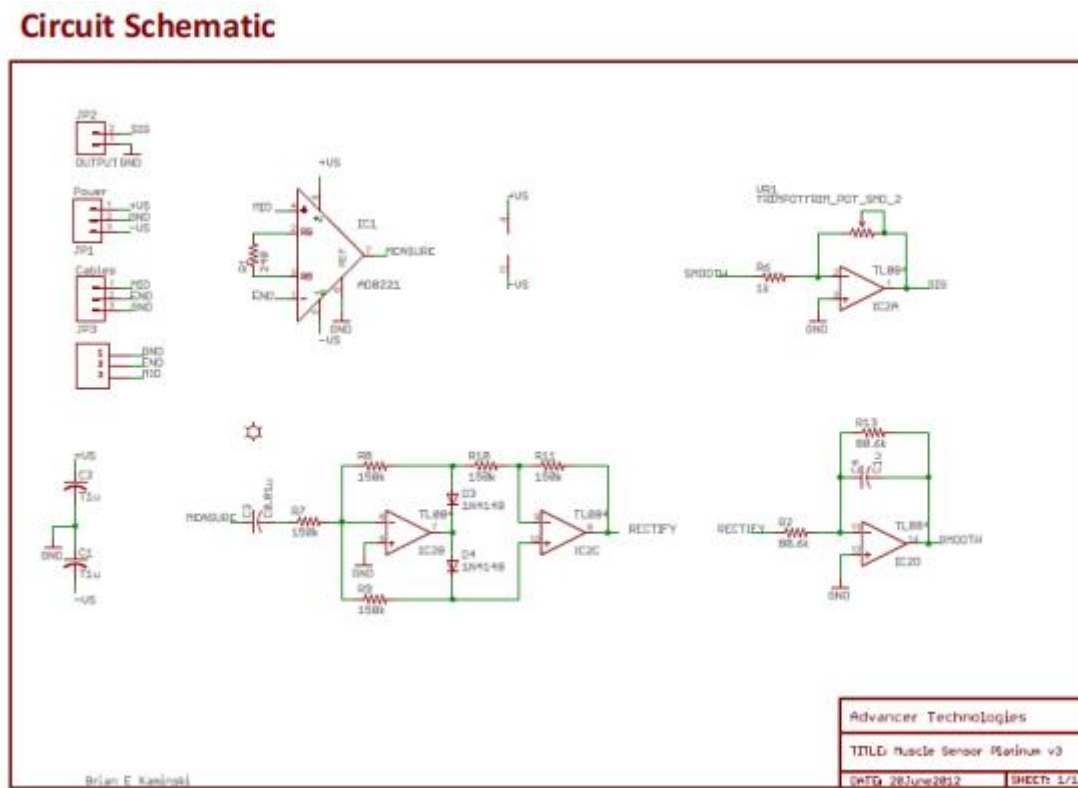


Figure III-7-Circuit schematic¹¹

¹⁰ Source : Muscle sensor v3 Users Manual pdf

III-4 La prothèse :

La main comporte les cinq doigts de la main et l'avant-bras. chaque doigt est relié à un servomoteur voici le résultat final de notre prothèse dans la Figure III- 8

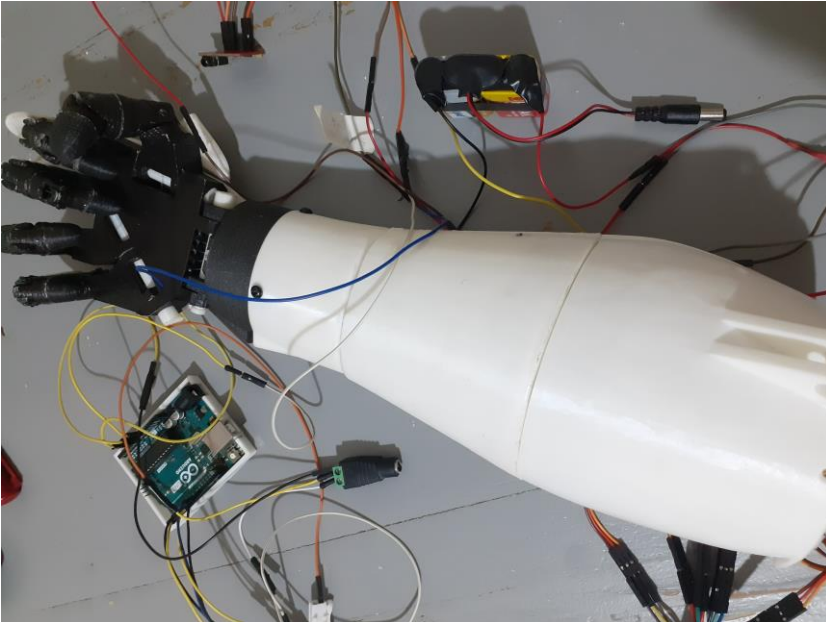


Figure III- 8- La prothèse

III-5 Le signal EMG et la commande de la prothèse :

On a deux états :

- État de repos : la main est au repos, ouverte.
- État de contraction : la main est active, l'opérateur fermer sa main.

¹¹ Source : mémoire de Kermiche Abdelkadir et Abdelkadir Ammar.

III-5-1 État de repos :

la validation des tests en état de repos implique la répétition du même geste pendant une durée spécifique, la capture des signaux électriques par la carte ARDUINO et leur transmission vers un PC pour une visualisation et une analyse ultérieure. Cela va nous permettre d'évaluer la stabilité et la cohérence des signaux électriques en état de repos, ce qui contribue à l'amélioration de la performance des prothèses de mains.

III-5-2 Commentaire :

La Figure III-9 représente le signal dans l'état de repos ce qui veut dire que la main doit rester immobile et ne fait aucun mouvement pour qu'on ne tombe pas dans les signaux indésirables.

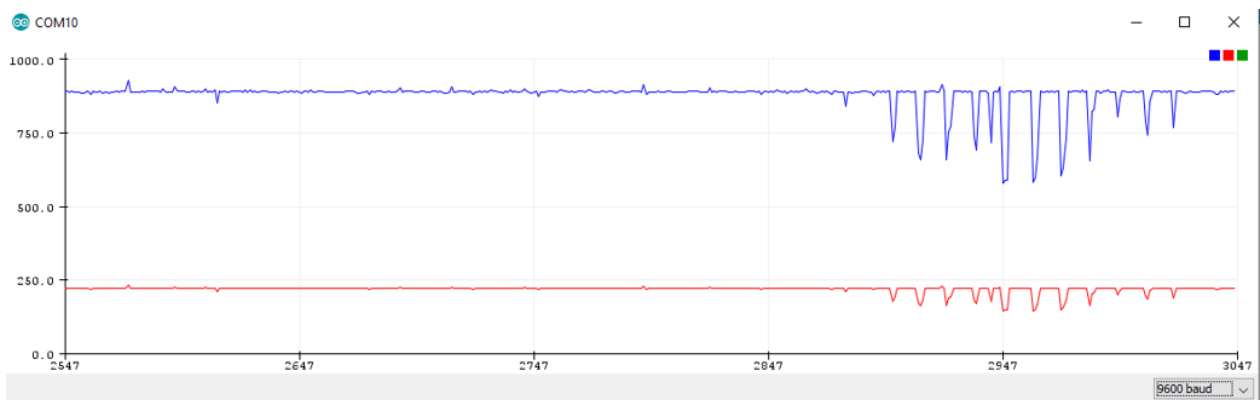


Figure III-9- Etat de repos

III-5-3 État de contraction:

la procédure d'analyse va être répétée pour la main en état actif, permettant ainsi la visualisation des différentes sorties sur une figure. Cela facilite l'évaluation et l'analyse des signaux électriques correspondant aux gestes et aux mouvements de la main prothétique, contribuant ainsi à l'amélioration des performances et de la fonctionnalité de la prothèse.

III-5-4 Commentaire :

La Figure III-10 montre le signal dans l'état de contraction c'est à dire la main est entrain de faire des mouvements et elle est mobile pour qu'on puisse tomber sur les signaux désirés.

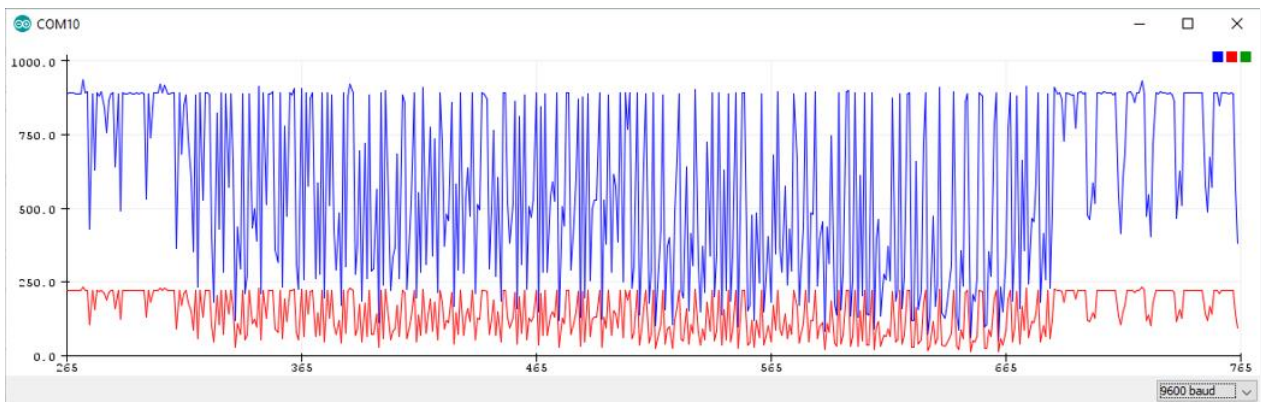


Figure III-10- Etat de contraction

III-6 Les résultats finaux:

La figure III-11 montre la main dans le cas d'état de repos sans aucun mouvement et lorsqu'on a le cas d'état de contraction la prothèse est en plein mode d'ouverture et fermeture.



Figure III-11- Les résultats finaux

Conclusion du chapitre :

Dans ce chapitre, on a réussi à atteindre l'objectif du PFE qui était de réaliser une prothèse . En utilisant des composants électroniques abordables, nous avons pu concevoir un dispositif qui présente un coût qui est accessible.

Le signal obtenu après la conversion analogique-numérique (CAN) de la carte ARDUINO représente le signal EMG. Il s'agit d'une version simplifiée et amplifiée du signal électromyographique. Ce signal peut être utilisé pour commander un servomoteur grâce à l'utilisation de la carte ARDUINO. On a observé la réaction immédiate de la prothèse aux différents états de la main, que ce soit en état actif ou en état de repos. Cette réactivité démontre l'efficacité de notre conception et la capacité de la prothèse à interpréter les signaux EMG et à y répondre de manière appropriée.

Conclusion générale :

Le but de notre PFE est de développer un système de commande d'une prothèse utilisant le signal EMG capté à l'aide d'électrodes de surface. Les électrodes jouent un rôle crucial dans la détection du signal EMG, et leur positionnement est essentiel pour déterminer la forme du potentiel d'action et la contribution des unités motrices d'action potentielle (PAUMs). En déterminant avec précision la position des électrodes, il est possible d'améliorer la commande de la prothèse, qui est conçue en 3D pour représenter un membre amputé humain.

Ce système final présente des performances relativement bonnes et des caractéristiques intéressantes pour un prototype imprimé en 3D. L'appareil est réactif et offre une réponse rapide aux signaux EMG émis par l'utilisateur, mais sa force est limitée. Cependant, ce dispositif peut servir de plateforme pour de futures recherches menées par des étudiants en dernière année d'ingénierie. Ils pourraient développer et tester des concepts de prothèses avancées, tels que des algorithmes de contrôle EMG sophistiqués, une intégration de retour de pression, ainsi que d'autres concepts et conceptions biomécatroniques avancés.

Au final ce projet vise à concevoir un système de commande de prothèse utilisant le signal EMG capté par des électrodes de surface. La précision du positionnement des électrodes est essentielle pour une commande efficace de la prothèse. Le dispositif final présente des performances intéressantes pour un prototype imprimé en 3D, mais il peut également servir de base pour des recherches ultérieures sur des prothèses avancées, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles innovations dans le domaine de la biomécatronique.

■ طبيعة المشروع Nature de projet

المنتوج ذو طابع

Fabrication, Vente de marchandises et de services

Fabrication, Sale of goods and services