

# Cahier des Charges

Projet S8 MAIN BIONIQUE 2024

Département SEI

Aspect	Cahier des charges fonctionnel	Cahier des charges technique
Objectif	Décrire ce que le système doit faire	Décrire comment les exigences seront réalisées
Contenu principal	Fonctionnalités, cas d'utilisation, critères d'acceptation	Architecture, technologies, sécurité, normes
Audience cible	Utilisateurs, clients, parties prenantes non techniques	Développeurs, ingénieurs, parties prenantes techniques
Nature du contenu	Orienté utilisateur, non technique	Orienté solution, technique
Exemple	Créer des tâches, assigner des membres	Utilisation de JavaScript, Node.js, PostgreSQL

## Plan

<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>Contexte du projet.....</b>	<b>3</b>
<i>Description du projet.....</i>	<i>3</i>
<i>Objectifs du projet.....</i>	<i>3</i>
<i>Périmètre du projet.....</i>	<i>3</i>
<b>Fonctionnalités attendues.....</b>	<b>3</b>
<i>Objectifs spécifiques.....</i>	<i>3</i>
<i>Cahier des charges fonctionnel.....</i>	<i>4</i>
<i>Cahier des charges technique.....</i>	<i>4</i>
<i>Contraintes techniques.....</i>	<i>4</i>
<i>Cas d'utilisation.....</i>	<i>4</i>
<b>Architecture technique.....</b>	<b>5</b>
<i>Technologies et outils.....</i>	<i>5</i>
<i>Sécurité (normes).....</i>	<i>5</i>
<i>Exigences de performance.....</i>	<i>6</i>
<b>Planning.....</b>	<b>7</b>
<i>Ressources.....</i>	<i>7</i>
<i>Budget.....</i>	<i>7</i>
<i>Qualité et tests.....</i>	<i>7</i>
<b>Critères de qualité.....</b>	<b>8</b>
<i>Plan de tests.....</i>	<i>8</i>
<i>Validation.....</i>	<i>8</i>
<i>Maintenance et support.....</i>	<i>8</i>

## Introduction

---

Ce document permet de définir et synthétiser l'ensemble des fonctionnalités attendues, besoins, objectifs et contraintes lors de ce projet S8 intitulé « main bionique – optimisation électronique & mécanique ». Ce projet est une reprise de l'étude PING « Main Bionique » du département Système Embarqués & Instrumentation.

## Contexte du projet

---

### Description du projet

L'objectif de ce projet est de concevoir une main bionique accessible et abordable pour tous. Inspiré par les défis quotidiens des personnes amputées, cette prothèse sera le reflet des avancées technologiques, mélangeant l'électronique, la modélisation 3D, la programmation ainsi que la compréhension de l'anatomie et des signaux biométriques. De nos jours, les prothèses ont souvent un coût assez élevé, l'aboutissement de ce projet permettra d'obtenir une solution innovatrice à un prix raisonnable.

### Objectifs du projet

Afin d'améliorer la qualité de vie des clients et promouvoir une société inclusive, cette prothèse doit pouvoir remplacer et avoir les mêmes fonctionnalités qu'une main biologique.

### Périmètre du projet

La réalisation de ce projet se fait au sein d'une équipe d'étudiants de l'ESIGELEC issus de dominantes différentes du département Systèmes Embarqués & Instrumentation. Une partie de l'année scolaire est complètement dédiée à la réalisation de ce projet. Puisqu'il s'agit d'un projet S8, nous avons environ 2 mois pour avancer le plus possible. Un prof est à disposition pour chaque équipe pour répondre à des questions. Nous avons accès aux travaux des équipes précédentes. Nous avons un accès à une imprimante 3D et aux ressources des laboratoires.

La notation du projet se fera en fonction des rendus, de la soutenance, du DS et de l'implication personnelle. Nous devons également écrire un communiqué de presse en anglais et tenir une interview en anglais de 10 minutes avec un professeur d'anglais pour préparer la soutenance.

## Fonctionnalités attendues

---

### Objectifs spécifiques

Pour le moment, l'objectif pour notre projet S8 n'est pas d'avoir une entière main bionique fonctionnelle. Notre objectif est de reprendre les anciens travaux et de corriger les nombreux problèmes ressortis.

- Amélioration du fonctionnement mécanique d'un doigt
- Conception et impression 3D (SolidWorks)
- Amélioration du système électromécanique
- Création d'un dispositif de test 2.
- Mise en œuvre de la mesure d'effort
- Analyse du circuit de la carte électronique
- Acquisition des mesures (MSP430)
- Affichage des mesures (Python)

## Cahier des charges fonctionnel

Notre but est de pouvoir faire bouger correctement au moins un doigt. Ce doigt doit atteindre une certaine position souhaitée et rester ainsi jusqu'à la prochaine commande. En effet nous voulons pouvoir imiter une main attrapant un objet sans le lâcher. Pour vérifier si le doigt tient bien sa position, on doit pouvoir forcer manuellement sur le doigt ou le servomoteur sans que ces derniers ne bougent.

## Cahier des charges techniques

Pour maintenir la position des servomoteurs, il faut que la PWM soit injectée en permanence jusqu'à une nouvelle commande.

## Contraintes techniques

Il y a un problème électronique sur la carte électronique fournie : seuls 2 ports ne semblent fonctionner, pourtant nous obtenons signaux corrects en entrée et en sortie.

Le code du MSP donnée n'est pas optimal ; les servomoteurs ont du mal à atteindre la position demandée. De plus le code est compliqué à comprendre et pas correctement écrit.

Sur le côté modélisation, il y des choses à modifier par rapport au versions actuelles, notamment un problème de ravalement et emmêlement de fils. Le mouvement des doigts n'étaient également pas naturels.

Il faut faire une étude sur les nerfs et les signaux biométriques et trouver comment capter les signaux des moignons et le transmettre dans la main bionique.

## Cas d'utilisation

Avec la main bionique, nous devons pouvoir faire bouger et plier chaque doigt individuellement vers la paume en suivant l'articulation des phalanges. Si plusieurs doigts sont modélisés, nous devons également les faire plier en ensemble.

Contenu principal : attraper des objets, ouvrir et fermer la main de manière naturelle, 5 doigts avec ses 3 phalanges et un bras (attaché au moignon) – reprendre les mesures d'une main et bras humains. Modélisation 3D, servomoteurs et fils.

## Architecture technique

---

### Technologie et outils

Cette partie décrit les technologies, logiciels, et matériels utilisés pour développer le projet. Elle inclut les plateformes de développement, les langages de programmation, les Framework, les outils de conception et de test, ainsi que les équipements matériels.

Pour le développement de notre main bionique, nous avons utilisé une gamme de technologies et d'outils avancés qui sont essentiels pour garantir une conception précise, une fonctionnalité optimale et une intégration harmonieuse des différents composants.

- ◆ **SolidWorks** : Est un logiciel de modélisation 3D de premier plan utilisé pour la conception de la structure mécanique de la main bionique. Grâce à SolidWorks, nous pouvons créer des modèles détaillés et ergonomiques, simuler les mouvements de la prothèse et optimiser la conception pour assurer robustesse et confort. Les fonctionnalités avancées de SolidWorks nous permettent également de réaliser des analyses de contrainte et des tests virtuels pour identifier et corriger les points faibles avant la fabrication.
- ◆ **MSP430** : Est un microcontrôleur bas consommation idéal pour les applications nécessitant une précision de contrôle élevée. Nous l'avons utilisé pour générer la modulation en largeur d'impulsion (PWM), qui est cruciale pour le contrôle précis des moteurs de la main bionique. La capacité du MSP430 à gérer des tâches en temps réel avec une consommation d'énergie minimale permet de maximiser l'efficacité énergétique de notre projet.
- ◆ **VSCODE** : Visual Studio Code est un environnement de développement intégré (IDE) que nous avons utilisé pour écrire, tester et déboguer le code de contrôle de la main bionique. VSCODE offre une multitude d'extensions et d'outils de développement qui facilitent la gestion du code, le suivi des versions et la collaboration en équipe. Son interface flexible et ses puissantes fonctionnalités de débogage nous ont permis de développer un logiciel robuste et efficace pour la prothèse.

### Sécurité (normes)

La sécurité est un aspect primordial dans le développement de notre main bionique. Nous avons suivi des normes rigoureuses et mis en place des protocoles stricts pour garantir que le dispositif est sûr et fiable dans toutes les conditions.

- ◆ **Normes ISO 13485** : Cette norme internationale spécifie les exigences pour un système de management de la qualité propre aux dispositifs médicaux. En suivant les directives de l'ISO 13485, nous nous assurons que notre prothèse répond aux exigences réglementaires et aux besoins des utilisateurs en termes de sécurité et de performance. Cela inclut des procédures strictes de contrôle de la qualité à chaque étape de la conception et de la fabrication.

- ◆ **Tests rigoureux** : Chaque composant de la main bionique est soumis à des tests exhaustifs pour détecter toute défaillance potentielle avant la mise sur le marché. Ces tests incluent des simulations d'utilisation, des tests de résistance mécanique, des évaluations de la durabilité des matériaux et des essais de fiabilité électronique. Nous effectuons également des essais cliniques pour évaluer la sécurité et l'efficacité de la prothèse dans des conditions réelles d'utilisation.
- ◆ **Protocoles de sécurité** : Nous avons mis en place des mesures pour prévenir les interférences électromagnétiques et garantir la stabilité des signaux nerveux captés par la prothèse. Des circuits de protection et des filtres sont intégrés dans les cartes électroniques pour protéger contre les surtensions et les court-circuits. De plus, le logiciel de contrôle est conçu pour détecter et gérer les anomalies en temps réel, assurant ainsi une sécurité maximale pour l'utilisateur.

## Exigences de performance

Pour que notre main bionique soit utile et efficace, elle doit répondre à des exigences de performances strictes. Ces exigences sont définies pour garantir que la prothèse offre une expérience utilisateur optimale et fiable.

- ◆ **Précision des mouvements** : La main bionique doit être capable de reproduire des mouvements précis et naturels. Cela inclut la capacité de réaliser des gestes fins et complexes, comme saisir de petits objets ou effectuer des mouvements délicats. La précision est assurée par l'utilisation de capteurs de haute qualité et par un contrôle précis des moteurs via le MSP430.
- ◆ **Réactivité** : La prothèse doit répondre instantanément aux commandes de l'utilisateur. Toute latence ou retard dans la réponse peut nuire à l'efficacité et à la convivialité de la prothèse.
- ◆ **Durabilité** : Les matériaux et composants utilisés doivent être robustes et capables de résister à une utilisation quotidienne intensive. Nous avons sélectionné des matériaux de haute qualité et conçu la prothèse pour qu'elle soit résistante aux chocs et à l'usure. Les tests de durabilité sont réalisés pour s'assurer que la prothèse peut fonctionner de manière fiable sur de longues périodes.
- ◆ **Efficacité énergétique** : La main bionique doit être optimisée pour une consommation d'énergie minimale afin de prolonger la durée de vie de la batterie. Cela permet une utilisation prolongée sans recharge fréquente, augmentant ainsi la commodité pour l'utilisateur. Le MSP430 et d'autres composants basse consommation sont utilisés pour maximiser l'efficacité énergétique de la prothèse.

## Planning

---

### Ressources

- Articles de revues scientifiques
- Vidéo montrant le fonctionnement de main bionique existant
- Logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) : SolidWorks
- Environnements de développement intégré (IDE) : Arduino, Eclipse
- Logiciels de simulation :
- Les imprimantes 3D
- Servomoteur et actionneurs :
- Microcontrôleur : MSP430
- Logiciels de conception de circuits imprimés (PCB) : EAGLE

### Budget

Le projet a été mené à bien sans recours à un budget supplémentaire. Toutes les étapes de développement, de la conception à la réalisation des prototypes, ont été effectuées en utilisant exclusivement les matériaux et les équipements déjà disponibles des années antérieures. Aucun financement externe ou interne n'a été requis pour compléter ce projet. Nous avons optimisé l'utilisation des ressources existantes pour atteindre nos objectifs et produire une prothèse fonctionnelle sans coûts additionnels.

### Qualités et tests

#### 1. Contrôle de la Qualité des Composants

- Sélection des Matériaux : Nous avons utilisé des matériaux de haute qualité, déjà disponibles, qui avaient été préalablement vérifiés pour leur durabilité et leur biocompatibilité
- Vérification des Composants Électroniques : Chaque capteur, servomoteur et microcontrôleur a été testé pour s'assurer de son bon fonctionnement

#### 2. Tests de Fonctionnalité

- Tests Itératifs : Plusieurs tests ont été effectués et pour vérifier les fonctionnalités mécaniques et électroniques.
- Simulation et Modélisation : Des simulations informatiques ont été réalisées pour anticiper les performances sous diverses conditions de stress et d'utilisation.

#### 3. Tests de Performance

- Tests de Mouvement et de Précision : La prothèse a été soumise à des tests pour évaluer la précision des mouvements et la réponse des servomoteurs aux commandes.
- Tests de Charge et de Durabilité : Des essais ont été effectués pour mesurer la capacité de la prothèse à supporter des charges variées et à fonctionner de manière continue sans défaillance.

## Critères de qualité

La main bionique est un dispositif médical sujet à de nombreuses normes et critères de qualités. En effet des normes telles que ISO 22523 sont nécessaires pour une mise en commercialisation future. Pour ce faire des plans de tests électronique, mécanique et informatique avec une conception permettant la maintenance est de mise.

### Plan de tests, Validation et Maintenance/support

Actuellement nous avons la possibilité de tester la carte électronique, le premier design mécanique répondant aux critères du cahier des charges (cf. document de synthèse mécanique) ainsi que le code. Le plan de test pour le doigt découlera du plan de test de la carte. Les étapes de préparation avant de tester sont les suivant :

- Brancher l'alimentation de 5V à la carte
- Brancher la carte UART permettant de recevoir les commandes du programme Python
- Relier les servomoteurs aux bornes d'entrées noires de la carte
- Faire tourner le programme python de test permettant de bouger les servomoteurs
- Tester les sorties P0,3,4,5,6,7 sur le MSP, ils sont reliés aux AOP.

Plan de tests	Validation	Maintenance
<b>Vérification Visuelle :</b> <i>Vérifier que tous les composants sont correctement soudés sur la carte.</i>  <i>Examiner le routage sur la carte pour détecter d'éventuelles erreurs ou coupures.</i>	Bonne soudure, pas de câble/fils libres	Effectuer un dépannage sur les soudures au FabLab/ salle libre Refaire la vérification
<b>Vérification électrique</b> <i>Pincer avec une sonde reliée à un Oscilloscope sur chaque sortie et observer ce que l'on voit</i>	Signaux PWM au début à 1 puis dès qu'une action sur le servomoteur en question est effectuée, chute à 0	Vérifier que les ports sont bien connectés Vérifier les servomoteurs via d'autres ports Prendre la Tension de la masse et vérifier qu'elle est bien nulle Vérifier les soudures, que les broches ne sont pas défectueuses
<b>Vérification Points de Test et Connecteur :</b> <i>Utiliser le multimètre pour mesurer les tensions aux points de test sur la partie alimentation et sur le connecteur des tensions 5V, 3,3V et GND.</i>  <i>Vérifier qu'elles correspondent aux valeurs attendues.</i>	Tensions de 5V, 3,3V et GND bien détectées, sans chute	Vérifier branchements  <b>Vérification Visuelle</b> <b>Vérification électrique</b>  Vérifier les composants (résistances, condensateurs,) et dépanner si besoin



<i>Vérifier aussi qu'il n'y a pas de court-circuit sur les points de test.</i>	Tensions détectées aux points de tests	
<b>Vérification des Servomoteurs :</b> <i>Connecter un ou plusieurs servomoteurs aux connecteurs (J1 à J6).</i>  <i>Vérifier que le microcontrôleur peut contrôler les servomoteurs de manière appropriée. Cela pourra se faire avec un banc de test style interface Python</i>	Les servomoteurs bougent de 0 à 180 degrés. I	Vérifier les connexions Changer le servomoteur s'il est défectueux et refaire les test

### ***Conclusion du Test Electronique***

Si toutes les étapes ci-dessus sont complétées avec succès et que la carte répond conformément aux spécifications, le test est considéré comme réussi. En cas de problème, identifier la cause du dysfonctionnement et procéder aux ajustements nécessaires sur la carte (maintenance).