

UNIVERSITÉ DE NANTES
FACULTÉ DE SCIENCES ET TECHNIQUES
LICENCE 3 SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR

Rapport de stage :
Mise en place d'un atelier
de fabrication d'une main robotisée

Albaladejo Joris

4 Janvier 2021

-

26 Février 2021

ASSOCIATION 1901 *Robots !*
<https://www.association-robots.com/>

Tutrice : Noémie Spiessert
Fonction : Responsable Opérationnelle



Table des matières

1	Introduction	6
2	Présentation de <i>Robots !</i>	7
2.1	Historique	7
2.2	Ses collaborateurs	7
2.3	Ses missions	8
2.4	Positionnement	8
2.4.1	Organisation de l'association	8
2.4.2	Positionnement au sein de l'association	9
3	Mon projet	9
3.1	La préparation en amont	10
3.1.1	La phase de recherche	10
3.1.2	La phase d'organisation	12
3.1.3	L'achat du matériel	13
3.1.4	La communication	14
3.1.5	La rédaction du manuel d'utilisation de l'atelier	14
3.2	La partie technique	15
3.2.1	L'impression 3D	15
3.2.2	La programmation du code	16
3.3	L'atelier	18
3.3.1	Les problématiques rencontrées	18
3.3.2	Le profil des participants	19
3.3.3	La finalité	19
4	Conclusion	20

Table des figures

2.2.0.1 Partenaires	7
2.4.1.1 Organisation de <i>Robots!</i>	8
2.4.2.1 Mon positionnement au sein de <i>Robots!</i>	9
3.1.1.1 Modélisations cinématiques	11
3.2.2.1 Code de test	16
3.2.2.2 Code de fonctionnement	17

Liste des tableaux

3.1.1.1 Comparaison Main robotisée/Prothèse robotisée	10
3.1.1.2 Résultats de la documentation	10
3.1.2.1 Planning	12
3.1.2.2 Cahier des charges du projet	12
3.1.3.1 Matériel nécessaire au fonctionnement de la main	13
3.1.3.2 Matériel commun à la fabrication des 7 mains	13
3.2.1.1 Profil d'impression	15
3.3.2.1 Profil des participants	19

Liste des abréviations

3D	3 Dimensions
CAD	Computer Aided Design
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
ECV	École de Communication Visuelle
FUN	France Université Numérique
IMT	Institut Mines-Télécom
Kg	Kilogramme
LS2N	Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes
MOOC	Massive Open Online Course
PCB	Printed Circuit Board
PLA	Polylactic Acid
TSA	Trouble du Spectre Autistique
V	Volts

Remerciements

En préambule je tiens à remercier Mme Sophie Sakka – fondatrice de *Robots!* – et Mme Noémie Spiessert – Responsable Opérationnelle – qui m’ont accueilli au sein de l’association et permis de réaliser un stage en accord avec mon projet professionnel. Leur encadrement m’a permis de mener à bien ce projet malgré le délai de 2 mois, correspondant à la durée du stage.

Merci à M. Zaki Jawhari (Société *URBANDRONE*) d’avoir mis à ma disposition son imprimante **3D** sans laquelle je n’aurais jamais pu réaliser mon prototype ni mettre en place mon atelier. Merci également pour ses conseils, qui m’ont permis de prendre en main plus rapidement l’imprimante.

Merci également à M. Xavier Laufenberg (Service civique au sein de *Robots!*) pour son aide lors de ma prise en main de l’impression **3D** et pour son travail de communication autour du projet auprès du public.

Merci à M. Joris L’hotellier (Société *Futon Production*) pour avoir réalisé une vidéo de présentation du projet pour la communication.

Merci à M. Isaac Gutiérrez Payàn qui m’a aidé à préparer et encadrer mon atelier.

Enfin, j’aimerais dire merci à toute l’équipe de l’association, M. Xavier Robion, M. Philippe Pateau, Mme Laure Vallès Bemelmans, Mme Caroline Gressel ainsi que tous les autres bénévoles que j’ai pu cotoyer pour m’avoir intégré à l’association le temps de mon stage. Nos discussions et leurs suggestions m’auront permis d’aborder au mieux les différentes étapes de la mise en place de l’atelier.

Merci à M. Yannick Aoustin qui m’a encouragé à me challenger en acceptant ce projet.

Ce stage m’aura permis de me conforter dans mon choix de projet professionnel, mais également d’acquérir des compétences en gestion de projet et aussi des compétences pour transmettre mes connaissances en réalisant une formation.

1 Introduction

“Un robot n’est pas tout à fait une machine. Un robot est une machine fabriquée pour imiter de son mieux l’être humain.”

Isaac Asimov, *La cité des robots*

Dans le cadre de ma Licence 3 Sciences Pour l’Ingénieur parcours Électronique, Énergie électrique et Automatique j’ai réalisé un stage de 8 semaines au sein de l’association 1901 *Robots !*. J’ai souhaité faire mon stage au sein de cette association car j’ai pour projet professionnel de travailler en tant qu’ingénieur biomédical dans le domaine de la conception de prothèses robotisées destinées aux personnes souffrant de handicap. Bien que ce domaine ne soit pas directement lié aux différents projets encadrés par l’association, j’ai notamment été séduit par les différents projets qu’elle entreprend. Ici, le robot n’est pas le centre de l’attention mais c’est bien l’humain qui apprend à utiliser le robot pour améliorer son quotidien.

Pour intégrer l’équipe tout en me rapprochant de mon objectif professionnel et en restant dans l’esprit de l’association, Sophie Sakka m’a proposé de mettre en place un projet spécifique : un atelier de fabrication et de programmation d’une prothèse robotisée. Toutefois, la contrainte du temps mais aussi le fait que mon atelier devait pouvoir s’adresser au grand public m’ont fait pencher pour une main robotisée plutôt qu’une prothèse. L’atelier que j’ai mis en place avait donc pour but de sensibiliser les personnes à la **CAO** (ou **CAD** en anglais), à l’impression **3D**, à l’électronique et à la programmation.

Durant ces 8 semaines, j’ai mis en place un atelier de fabrication de main robotisée accessible à tous. Au delà de la fabrication du prototype de main, la finalité était que je puisse animer cet atelier durant ma dernière semaine de stage. La durée de cet atelier était de 4 demi-journées réparties du lundi 22 Février au jeudi 25 Février.

Dans un premier temps je rappellerai l’histoire de l’association. En seconde partie, j’aborderai les différentes missions que j’ai eu à réaliser pour mettre en place mon atelier. Enfin, je conclurai sur ce que ce stage m’a apporté et j’évoquerai différentes perspectives d’améliorations envisageables pour ce projet.

2 Présentation de *Robots !*

2.1 Historique

Robots ! [1] est une association déclarée d'intérêt général à but non lucratif. Elle a été créée en Mars 2014 par Sophie Sakka. Elle a au départ eu une démarche orientée autour de la robotique et de l'art. Celle-ci a été initiée par Sophie Sakka et Marie Rebérat qui avait pour l'occasion conçu des tenues pour les robots Nao. À la suite d'une conférence animée par Sophie Sakka, Xavier Robion, enseignant à l'**ECV** Nantes, a proposé son aide pour trouver l'identité visuelle de l'association. Le logo présent sur la première page de mon rapport a donc été fait en 2014 par Lucie Crison, une élève de l'**ECV**.

Suite aux différentes interventions de Sophie Sakka qui montraient les bienfaits que pouvaient avoir les robots sur les humains, une connexion s'est faite avec le **CHU** de Nantes. Ainsi le projet *Rob'Autisme* est né d'une réflexion entre Sophie Sakka et Renald Gaboriau, orthophoniste au **CHU** et encadrant du projet entre 2014 et 2017. Il a également mené une thèse sur le sujet, qu'il a soutenue le 24 septembre 2020 pour obtenir le grade de Docteur du Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (**LS2N**).

2.2 Ses collaborateurs

Depuis sa création, l'association a eu de nombreux partenaires tels que le CHU de Nantes, le **LS2N** ou encore l'École Centrale de Nantes. Ci-dessous, le détail des partenaires qu'elle a eu depuis sa création.



FIGURE 2.2.0.1 – Les partenaires de l'association

2.3 Ses missions

L'association diffuse un savoir sur les robots et sur leur utilisation auprès du grand public et mène une réflexion sociétale sur comment, dès aujourd'hui, les robots peuvent améliorer notre quotidien. Les bénévoles y mènent différents projets ouverts dès l'âge de 10 ans :

- *Rob'Autisme*, un projet se déroulant sur 2 ans pouvant accueillir 6 adolescents de 11 à 16 ans atteints de **TSA**. Il a pour but de réaliser un accompagnement thérapeutique basé sur l'utilisation des robots Nao (*SoftBank Robotics*) pour permettre aux participants de renforcer leur habileté sociale.
- Des ateliers de découvertes et d'initiation à la programmation avec les robots Nao et Thymio (*Mobsya*).
- Des stages performances avec Nao et Thymio pour programmer et créer une histoire.

2.4 Positionnement

2.4.1 Organisation de l'association

Depuis sa création en 2014 *Robots !* est présidée par Sophie Sakka, et compte chaque année une cinquantaine d'adhérents.

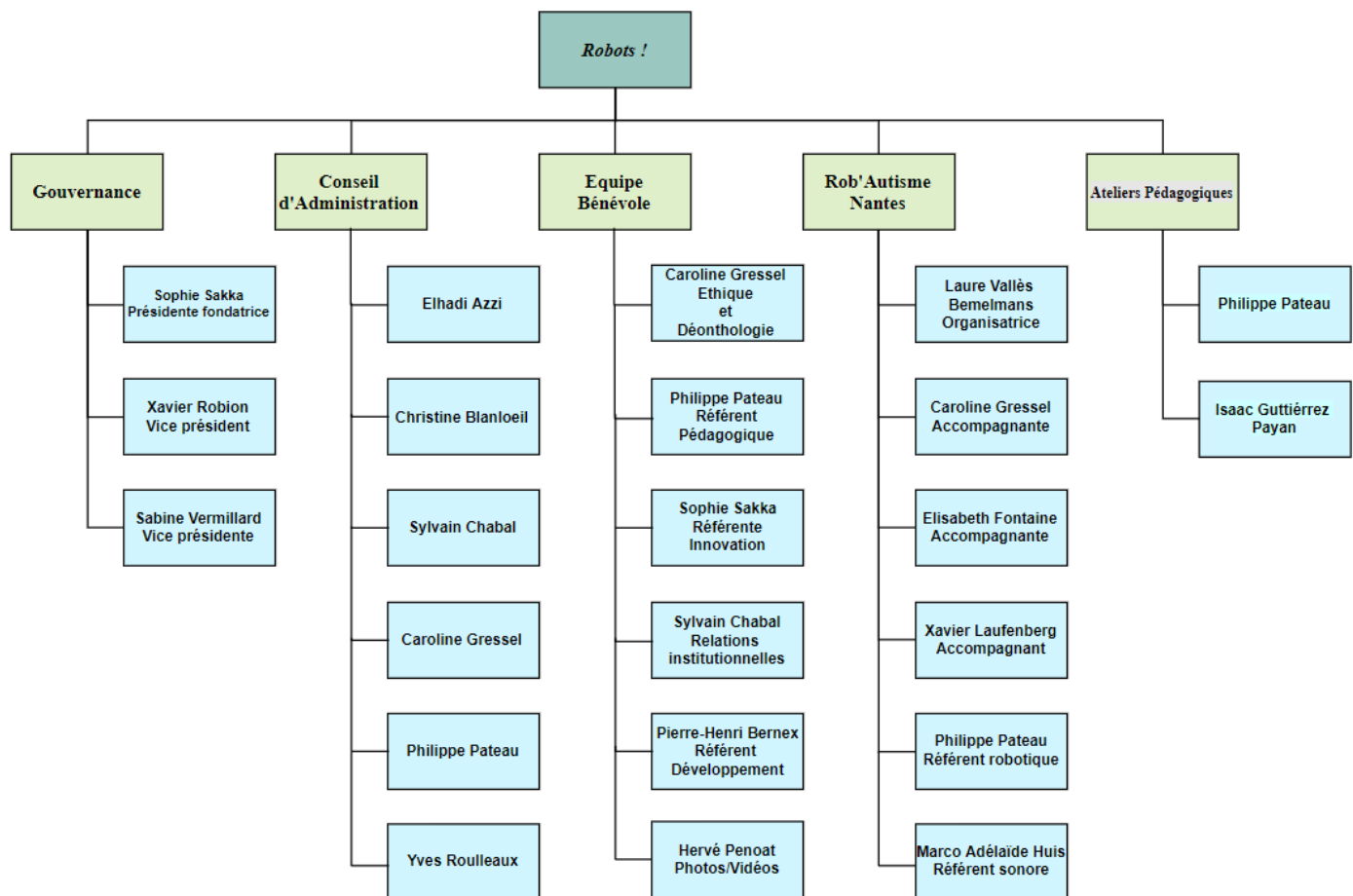


FIGURE 2.4.1.1 – Organisation de *Robots !*

2.4.2 Positionnement au sein de l'association

Lors de mon stage j'ai intégré l'équipe en charge des ateliers pédagogiques, afin de pouvoir préparer puis animer mon atelier *Montage et programmation d'une main robotisée*.

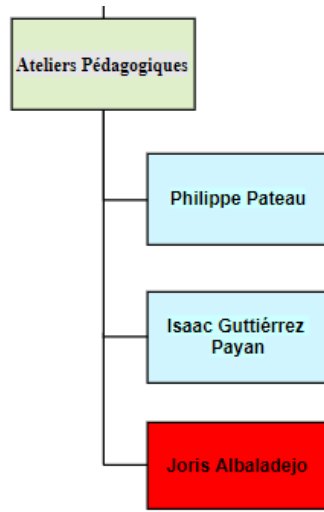


FIGURE 2.4.2.1 – Mon positionnement au sein de *Robots !*

3 Mon projet

La mise en place de mon projet est passée par plusieurs étapes. Il a fallu dans un premier temps que je décide de la manière dont j'allais organiser l'avancement de celui-ci et en élaborant un cahier des charges. Par la suite j'ai entrepris une phase de recherche pour me renseigner sur les différents types de mains robotisées existants ainsi que leur fonctionnement.

Mes recherches terminées, j'ai commencé les tests sur l'imprimante **3D** afin d'ajuster le réglage des paramètres pour trouver ceux étant les plus optimaux au vu des contraintes non seulement de temps pour la réalisation du prototype et des pièces nécessaires à l'atelier, mais également la contrainte de solidité à laquelle devait répondre la main. En parallèle de cela, j'ai conçu un code visant à contrôler le mouvement de la main à l'aide de potentiomètres.

Simultanément j'ai engagé la rédaction du manuel d'utilisation de mon atelier afin, d'une-part : de regrouper les connaissances nécessaires à la fabrication de la main, et d'autre-part de manière plus générale, indiquer les ressources permettant de s'initier à la programmation, la **CAO** et l'impression **3D**. Enfin, le développement de l'imagination par l'utilisation des robots étant une des valeurs de l'Association, j'ai ouvert des perspectives aux futurs utilisateurs pour qu'ils puissent trouver des solutions correspondants à leurs propres attentes vis à vis de cette main.

3.1 La préparation en amont

3.1.1 La phase de recherche

Au départ Sophie Sakka m'avait proposé de mettre en place un atelier de fabrication de prothèse robotisée. Cependant, après réflexion j'en ai conclu qu'une prothèse serait compliquée à faire en raison des connaissances nécessaires, de la nécessité que l'atelier final doit être réalisable par des personnes non spécialistes dans ce domaine et de la contrainte de la durée de mon stage qui était de deux mois. J'ai donc décidé de m'orienter plutôt vers une main robotisée.

Pour appuyer ma décision je l'ai formalisée à l'aide du tableau comparatif suivant :

Caractéristiques	Main robotisée	Prothèse robotisée
Capteurs sensoriels	Pas obligatoire	Obligatoire
Matériaux adaptés à la peau	Pas nécessaire	Obligatoire
Poids (Moyenne depuis 2010)	Moins de 1Kg	Moins de 1Kg
Autonomie	Dépend de l'alimentation	environ 1 journée
Fonctionnement	Code informatique	Signaux électriques nerveux

TABLE 3.1.1.1 – Tableau comparatif Main robotisée/Prothèse robotisée

Après avoir effectué mon travail de recherches génériques sur les mains robotisées, j'ai commencé à chercher un modèle de mains en fichiers **3D** libre de droit et correspondant à mes attentes, pour l'imprimer. J'ai donc axé mes recherches sur les mains robotiques, et j'ai découvert un projet sur le site *Instructables*. Ce projet était une main imprimée en **3D** contrôlée en bluetooth via un smartphone réalisée par un utilisateur nommé *TechMartian*[2].

Bien que ce projet soit en libre accès sur le site, je l'ai contacté pour lui expliquer ma démarche, malheureusement il ne m'a pas répondu.

Au fil de mes recherches, je suis donc arrivé aux résultats suivants :

Ce que l'on trouve facilement	Ce que l'on a du mal à trouver
Des modèles de mains robotiques pour l'impression 3D	Des modèles avec des dimensions proches de celles d'une vraie main
Le type d'actions que doit pouvoir effectuer la main choisie	Des articles accessibles au grand public
Des projets de mains robots réalisés par des particuliers	Les composants exacts utilisés sur les modèles trouvés

TABLE 3.1.1.2 – Résultats de la documentation

J'ai observé que le fait d'ouvrir une pièce **3D** avec un logiciel différent de celui qu'avait utilisé le créateur de la pièce pouvait en effet générer des problèmes au niveau des dimensions des pièces. Toutefois, ce problème peut-être évité si l'on trouve un modèle conçu sur le même logiciel que celui que l'on utilise, ou bien en effectuant une modification de l'échelle lors de la préparation de l'impression sur le trancheur **3D**.

Une fois trouvé mon modèle de main à imprimer en **3D**, je me suis attelé à l'observation de la différence des mouvements que pouvaient effectuer une main humaine et la main robotique que j'allais monter. J'ai donc pris la décision de réaliser des modélisations cinématiques pour observer les différences entre les deux types de main. Ci-dessous, la modélisation d'une main humaine en m'inspirant de celle vue dans la thèse de Giulio Cerruti [3], ainsi que celle de la main robotique que j'ai décidé d'utiliser pour mon atelier.

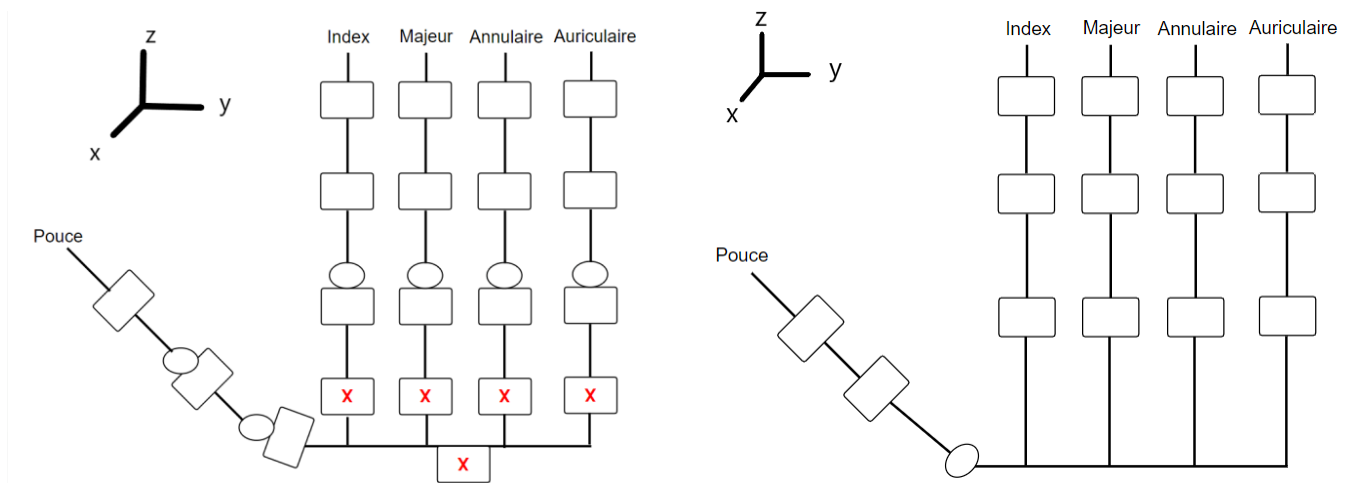


FIGURE 3.1.1.1 – Modélisations cinématiques d'une main humaine (à gauche) et de ma main robotisée (à droite)

Légende :

- ovals : rotation autour de l'axe z
- rectangles : rotation autour de l'axe y
- rectangles avec une croix rouge : degré de liberté négligé

3.1.2 La phase d'organisation

Une fois ma phase de recherche terminée, j'avais les fichiers nécessaires pour l'impression du modèle **3D**. J'ai donc pu établir un cahier des charges et un planning prévisionnel pour mon projet, afin de pouvoir comparer à la fin si mes prévisions étaient les bonnes ou pas.

Ici, le tableau comparatif de mon planning prévisionnel et du temps réel que j'ai passé sur les différentes tâches :

Tâches	Temps passé prévu	Temps passé réel
Documentation sur les mains robotisées	25h	30h
Recherche et sélection du modèle 3D à imprimer	6h	9h
Choix/commande/test du matériel nécessaire	4h	10h
Établissement du cahier des charges	3h	3h
Documentation sur l'impression 3D	15h	12h
Impression des pièces (pour le prototype et l'atelier)	50h	70h
Réalisation et test du code Arduino	10h	5h
Préparation de l'atelier	40h	65h
communication autour de l'atelier	30h	25h
Animation de l'atelier	16h	16h

TABLE 3.1.2.1 – Comparaison du planning prévisionnel et du temps réel passé sur les tâches

Ci-dessous, le cahier des charges du projet.

Contexte	Mise en place d'un atelier de formation "loisir" de fabrication d'une main robotique en impression 3D .
Positionnement	On se place dans le cas de la création d'une main robotisée.
Objectif	Animer un atelier de formation grand public. Chaque participant doit repartir avec sa main.
Besoins Fonctionnels	La main doit être capable de tenir un objet léger. La formation finale doit être adaptée au grand public.

TABLE 3.1.2.2 – Cahier des charges du projet

3.1.3 L'achat du matériel

Après avoir réalisé mon cahier des charges et établi mon planning, je me suis penché sur la commande du matériel nécessaire à la réalisation du prototype et l'animation de l'atelier. Nous avons convenu qu'il y aurait 6 places, je devais donc prévoir la fabrication de 7 mains.

Objet	Quantité/main	Prix/Unité	Quantité commandée	coût total
Carte Arduino <i>Uno</i>	1 pièce	14.90€	7 pièces	124.20€
Câble Dupont mâle-mâle	32 pièces	0.065€	2*120 pièces	15.76€
Platine d'essai	1 pièce	4.99€	7 pièces	34.93€
Potentiomètre linéaire 10k Ω	5 pièces	1€	35 pièces	35€
pile 9V	1 pièce	3€	7 pièces	21€
support de pile	1 pièce	2.99€	7 pièces	20.93€
Servomoteur SG90 9g	5 pièces	1.39€	4*10 pièces	55.56€
Coût total		40€		307.38€

TABLE 3.1.3.1 – Matériel nécessaire au fonctionnement de la main

J'ai également dressé une liste du matériel commun nécessaire au montage des 7 mains prévues :

- Des vis pour fixer le support des servomoteurs sur le bras et pour fixer les poulies sur les servomoteurs
- Une bobine de câble élastique pour les articulations
- Une bobine de câble métallique pour tirer les doigts avec les servomoteurs
- Un pistolet à colle chaude
- Une bobine de filament **PLA** de couleur noire pour l'impression **3D**
- Une bobine de filament **PLA** de couleur verte pour l'impression **3D**

Nous avons déjà le pistolet à colle et nous n'avons donc pas eu à l'acheter. Les vis quand à elles étaient présentes dans les sachets individuels de chaque servomoteur. Ci-dessous, un tableau dressant le total du coût d'achat du matériel :

Matériel	quantité achetée	prix
Bobine de câble élastique	1	7.9€
Bobine de câble métallique	1	2€
Bobine de filament PLA	2	2*19.90€

TABLE 3.1.3.2 – Matériel commun à la fabrication des 7 mains

3.1.4 La communication

Une fois tout le matériel choisi et commandé, j'ai pu discuter avec les différents membres de *Robots !* pour décider de quelle manière nous allions communiquer pour promouvoir l'atelier. Nous avons demandé à Joris L'hotellier de réaliser un petit clip vidéo (disponible en **annexe 1**) que l'on puisse diffuser sur différents réseaux sociaux (Facebook, LinkedIn) lors de l'annonce de l'atelier.

Pour promouvoir l'atelier j'ai donc rédigé un petit texte expliquant ce dont il allait être question, et nous l'avons accompagné de la vidéo. Noémie Spiessert s'est occupée de la diffusion de celui-ci sur les différents réseaux de l'association, que nous repartagions ensuite sur nos comptes personnels. Elle a également ouvert les inscriptions au public via le site *helloasso*.

Pendant ce temps, Xavier Laufenberg a de son côté conçu un flyer (disponible en **annexe 2**) expliquant le contenu de l'atelier. Nous sommes ensuite allés le faire imprimer en plusieurs exemplaires pour le distribuer dans des commerces de la ville.

La diversité de notre communication, que cela soit les flyers ou les posts sur les différents réseaux nous a permis d'obtenir 4 inscriptions à l'atelier en moins d'une semaine malgré les contraintes sanitaires ! Les 2 dernières places n'ont malheureusement pas été remplies, toutefois c'était un challenge de plus de relevé.

En effet, s'il était prévu que j'anime quoi qu'il arrive un atelier durant ma dernière semaine de stage, nous avons peur qu'au vu des circonstances actuelles peu de personnes soient intéressées et que je ne l'anime pas auprès d'un véritable public mais auprès de membres de l'association.

3.1.5 La rédaction du manuel d'utilisation de l'atelier

Afin de préparer mon atelier *Montage et programmation d'une main robotisée* j'ai rédigé un manuel d'utilisation (disponible en **annexe 3**). Ce manuel avait pour but de visualiser la manière dont j'allais structurer mon atelier, tout en expliquant à chaque participant de manière assez simple le fonctionnement des composants, de la main, mais aussi où trouver les ressources pour faire de l'impression **3D** et trouver des modèles de **CAO**.

Au-delà de la rédaction, cela m'a demandé un travail de réflexion sur comment j'allais présenter toutes les notions, et un travail de documentation supplémentaire, par exemple sur les différentes structures proposant un service d'impression **3D** à Nantes.

Il était également destiné à être disponible en accès libre sur le site de *Robots !*. Par conséquent, il devait être suffisamment complet et détaillé pour qu'une personne souhaitant reproduire le projet en autonomie ait toutes les clefs en main pour se former de la même manière qu'une personne ayant assisté à l'atelier.

3.2 La partie technique

3.2.1 L'impression 3D

J'ai commencé la partie technique en m'occupant de l'impression **3D** car c'était la première fois que j'utilisais une imprimante **3D**. Je me suis donc renseigné en lisant le manuel d'utilisation [4] pour me familiariser avec les mesures de sécurité, ainsi que les caractéristiques de l'imprimante. Cette imprimante était la *Chiron* de chez *Anycubic*.

Une fois l'installation et la prise en main du logiciel *Ultimaker Cura* [5] réalisées, j'ai utilisé ce trancheur **3D** pour réaliser mes impressions. Une fois tout cela fait, j'ai alors enfin pu réaliser des tests pour trouver les paramètres qui convenaient le mieux pour mon projet (Voir en **annexe 4** les photos de quelques tests que j'ai réalisé, ainsi que du résultat avec les paramètres finaux). J'ai donc créé un profil *Cura* spécifique pour ne pas avoir à modifier les réglages à chaque nouvelle impression (Voir ci-dessous).

Catégorie	Nom du paramètre	Valeur
Qualité	Hauteur de la couche	0.3 mm
Coque	Épaisseur de la paroi	0.5 mm
	Nombre de lignes de la paroi	1
	Épaisseur du dessus/dessous	0.8 mm
	Épaisseur du dessus	0.8 mm
	Couche supérieure	3
	Épaisseur du dessous	0.8 mm
	Couche inférieure	3
	Expansion horizontale	0 mm
Remplissage	Densité du remplissage	5%
	Motif de remplissage	Grille
Matériau	Température d'impression	200°C
	Température du plateau	85°C
Vitesse	Vitesse d'impression	80mm/s
Déplacement	Activer la rétraction	Oui
Refroidissement	Activer le refroidissement de l'impression	Oui
	Vitesse du ventilateur	100%
Supports	Générer les supports	Non
Adhérence du plateau	Type d'adhérence du plateau	Bordure

TABLE 3.2.1.1 – Profil d'impression sur *Ultimaker Cura*

Pour continuer à me former sur la modélisation et l'impression **3D** j'ai suivi le **MOOC** *Imprimer en 3D* [6] organisé par l'**IMT** Atlantique. Je l'ai suivi via la plateforme **FUN MOOC** et j'ai obtenu une attestation de réussite (disponible en **annexe 5**).

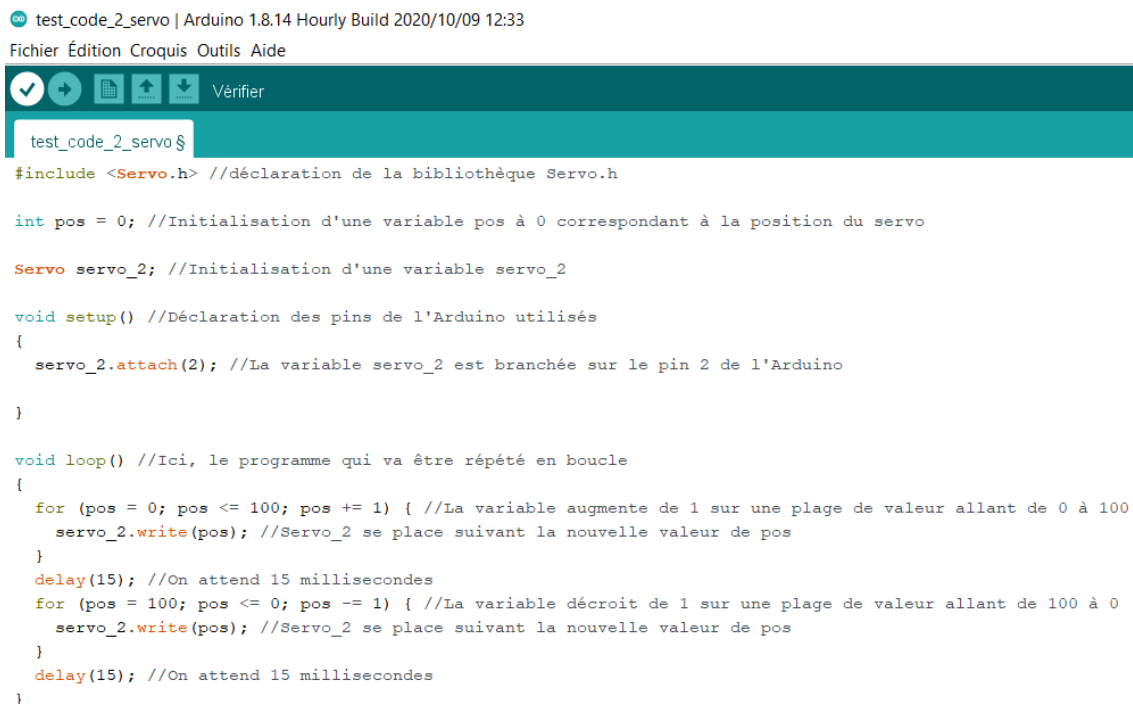
3.2.2 La programmation du code

Pour contrôler le mouvement de ma main je souhaitais au départ suivre le principe mis en place par le créateur du projet dont je me servais, à savoir la programmation via Arduino [7]. Ceci pour pouvoir gérer le mouvement des doigts en bluetooth à l'aide une application de smartphone. Cependant, la carte qu'il utilisait pour son projet était une carte Arduino *101*, alors que celle que j'utilisais était une Arduino *Uno*.

En effet ces deux cartes sont différentes non seulement de par leur prix, mais également de par leurs fonctionnalités. La *101* comporte un module bluetooth intégré alors que sur la *Uno* ce module doit être acheté séparément. Un de mes challenges était notamment de réduire au maximum le coût de fabrication d'une main, afin de pouvoir proposer l'atelier à un prix raisonnable pour les participants, tout en restant en accord avec les tarifs mis en place par l'association.

De plus la programmation d'un module bluetooth était plus compliquée à mettre en oeuvre et à expliquer à des personnes totalement étrangères à la programmation. J'ai donc pris la décision de m'orienter vers l'utilisation de potentiomètres et de cartes Arduino *Uno* pour optimiser un maximum le coût de fabrication.

J'ai donc écrit un premier code assez simple pour tester rapidement le fonctionnement de chaque servomoteur à la réception de la commande :



```
test_code_2_servo | Arduino 1.8.14 Hourly Build 2020/10/09 12:33
Fichier Édition Croquis Outils Aide
Vérifier
test_code_2_servo$
#include <Servo.h> //déclaration de la bibliothèque Servo.h

int pos = 0; //Initialisation d'une variable pos à 0 correspondant à la position du servo

Servo servo_2; //Initialisation d'une variable servo_2

void setup() //Déclaration des pins de l'Arduino utilisés
{
  servo_2.attach(2); //La variable servo_2 est branchée sur le pin 2 de l'Arduino
}

void loop() //Ici, le programme qui va être répété en boucle
{
  for (pos = 0; pos <= 100; pos += 1) { //La variable augmente de 1 sur une plage de valeur allant de 0 à 100
    servo_2.write(pos); //Servo_2 se place suivant la nouvelle valeur de pos
  }
  delay(15); //On attend 15 millisecondes
  for (pos = 100; pos >= 0; pos -= 1) { //La variable décroît de 1 sur une plage de valeur allant de 100 à 0
    servo_2.write(pos); //Servo_2 se place suivant la nouvelle valeur de pos
  }
  delay(15); //On attend 15 millisecondes
}
```

FIGURE 3.2.2.1 – Code de test du fonctionnement des servomoteurs

Vous trouverez en **annexe 6** une vidéo montrant ce code en fonctionnement.

Cependant la main ne devait pas bouger de manière automatique, mais pouvoir être contrôlée manuellement. J'ai donc rédigé un programme permettant de contrôler les 5 servomoteurs indépendamment à l'aide de 5 potentiomètres :

```
bras | Arduino 1.8.14 Hourly Build 2020/10/09 12:33
Fichier Édition Croquis Outils Aide

bras §

#include <Servo.h> //On déclare la librairie Servo.h

Servo Pouce; //On initialise un objet servo pour le pouce
Servo Index; //On initialise un objet servo pour l'index
Servo Majeur; //On initialise un objet servo le majeur
Servo Annulaire; //On initialise un objet servo l'annulaire
Servo Auriculaire; //On initialise un objet servo pour l'auriculaire

int PoucePin = A1; //Pin analogique utilisé pour connecter le potentiomètre contrôlant le pouce
int IndexPin = A2; //Pin analogique utilisé pour connecter le potentiomètre contrôlant l'index
int MajeurPin = A3; //Pin analogique utilisé pour connecter le potentiomètre contrôlant le majeur
int AnnulairePin = A4; //Pin analogique utilisé pour connecter le potentiomètre contrôlant l'annulaire
int AuriculairePin = A5; //Pin analogique utilisé pour connecter le potentiomètre contrôlant l'auriculaire

int valPouce; //Variable pour la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A1
int valIndex; //Variable pour la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A2
int valMajeur; //Variable pour la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A3
int valAnnulaire; //Variable pour la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A4
int valAuriculaire; //Variable pour la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A5

void setup() {
  Pouce.attach(2); //On attache le servo du pouce au pin digital 2
  Index.attach(3); //On attache le servo de l'index au pin digital 3
  Majeur.attach(4); //On attache le servo du majeur au pin digital 4
  Annulaire.attach(5); //On attache le servo de l'annulaire au pin digital 5
  Auriculaire.attach(6); //On attache le servo de l'auriculaire au pin digital 6
}

void loop() {
  valPouce = analogRead(PoucePin); //On lit la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A1 (entre 0 et 1023)
  valPouce = map(valPouce, 0, 1023, 0, 90); //On convertit la valeur sur une plage de donnée entre 0° et 90°
  Pouce.write(valPouce); //On met le pouce à la valeur du potentiomètre A1 après qu'elle soit convertie
  valIndex = analogRead(IndexPin); //On lit la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A2 (entre 0 et 1023)
  valIndex = map(valIndex, 0, 1023, 0, 180); //On convertit la valeur sur une plage de donnée entre 0° et 180°
  Index.write(valIndex); //On met l'index à la valeur du potentiomètre A2 après qu'elle soit convertie
  valMajeur = analogRead(MajeurPin); //On lit la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A3 (entre 0 et 1023)
  valMajeur = map(valMajeur, 0, 1023, 0, 180); //On convertit la valeur sur une plage de donnée entre 0° et 180°
  Majeur.write(valMajeur); //On met le majeur à la valeur du potentiomètre A3 après qu'elle soit convertie
  valAnnulaire = analogRead(AnnulairePin); //On lit la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A4 (entre 0 et 1023)
  valAnnulaire = map(valAnnulaire, 0, 1023, 0, 180); //On convertit la valeur sur une plage de donnée entre 0° et 180°
  Annulaire.write(valAnnulaire); //On met l'annulaire à la valeur du potentiomètre A4 après qu'elle soit convertie
  valAuriculaire = analogRead(AuriculairePin); //On lit la valeur analogique du potentiomètre connecté sur le pin A5 (entre 0 et 1023)
  valAuriculaire = map(valAuriculaire, 0, 1023, 0, 180); //On convertit la valeur sur une plage de donnée entre 0° et 180°
  Auriculaire.write(valAuriculaire); //On met l'auriculaire à la valeur du potentiomètre A5 après qu'elle soit convertie
  delay(15); //On attend 15 millisecondes
}
```

FIGURE 3.2.2.2 – Code de fonctionnement de la main

Vous trouverez en **annexe 7** une vidéo montrant ce code en fonctionnement.

3.3 L’atelier

3.3.1 Les problématiques rencontrées

Pour mettre en place cet atelier, je devais réaliser l’impression de 7 mains. Cependant la durée d’impression des pièces était à première vue une contrainte pour pouvoir être prêt pour ma dernière semaine. Afin de résoudre cette difficulté il était nécessaire d’imprimer plusieurs pièces à la fois. Cela nous contraignait cependant à ne pouvoir lancer qu’une seule impression par jour.

En effet, l’impression de toutes les pièces du projet était affichée comme prenant 9h et 56 minutes et consommait 24.88 mètres de filament **3D** lorsque nous déposons les pièces sur le plateau virtuel du logiciel. Toutefois ceci était calculé avant le début de l’impression, et il fallait compter environ 2h supplémentaires avant qu’elle soit réellement finie. Ne pouvant pas faire tourner l’imprimante en dehors de nos horaires de présence à l’association pour des questions de sécurité, nous ne pouvions pas imprimer une main entière à chaque fois.

De plus, il arrivait parfois que les pièces se décollent du plateau au cours de l’impression, à cause des changements de température dans la pièce où se situait l’imprimante. Cela exigeait parfois que nous relançons de nouvelles impressions encore moins grosses par manque de temps avant la fin de la journée.

Au-delà du temps d’impression relativement long, il fallait prendre en compte le fait que chaque impression qui échouait plus ou moins loin dans son avancement nous faisait consommer du filament. Ces ratés ajoutés aux tests réalisés pour la prise en main de l’imprimante et du logiciel ont donc nécessité l’achat de plusieurs bobines.

N’ayant jamais animé d’atelier auparavant il a également fallu que je détermine comment j’allais aborder les différentes notions, tout en sachant que lorsque j’ai commencé ma préparation je n’avais pas encore d’inscrit. Je ne savais donc pas si j’allais devoir faire cet atelier à des enfants, des adolescents ou des adultes, expérimentés en programmation et en impression **3D**, ou non.

Pour compenser cela j’ai donc opté pour la préparation de quelques quizzes via le site *Kahoot* et l’utilisation de quelques vidéos *YouTube* afin de rendre l’apprentissage et la compréhension des notions la moins difficile possibles, tout en apportant un côté ludique qui favorise la mémorisation. J’ai également utilisé le support de cours d’Informatique Industrielle que j’ai suivi à l’université au semestre 1 [8], pour expliquer au mieux le fonctionnement de base d’un code Arduino.

Pour la partie pratique, j’ai opté pour un travail collaboratif mais qui permettait de respecter les contraintes sanitaires. Chaque participant avait son matériel, mais je les invitais à intervenir entre eux pour se conseiller et partager leurs idées sur la réalisation de telle ou telle tâche.

3.3.2 Le profil des participants

La semaine d'atelier démarrait donc avec 4 participants. En leur posant quelques questions le 1er jour j'ai pu établir un profil de chacun d'entre eux, que je présente dans un tableau récapitulatif ci-dessous.

Numéro du participant	Âge	Notions en impression 3D	Notions en programmation
Participant 1	10 ans et demi	Non	Oui
Participant 2	11 ans	Non	Non
Participant 3	14 ans	Non	Non
Participant 4	16 ans	Non	Oui

TABLE 3.3.2.1 – Tableau récapitulatif du profil des participants

j'ai trouvé cela intéressant, car le plus jeune et le plus âgé du groupe avaient tous deux quelques notions en programmation, mais par deux biais différents. Au final ils avaient d'une certaine manière les mêmes bases. En matière d'impression **3D** ils étaient tous novices dans ce domaine, ce qui était plus aisé pour en expliquer le fonctionnement.

3.3.3 La finalité

Malgré leurs profils différents chacun d'eux a été intéressé et s'est impliqué pendant l'atelier, et le travail collaboratif leur a permis d'avancer et d'arriver à ce qu'ils montent et programment tous leur main. L'objectif était qu'ils repartent avec des compétences suffisantes pour pouvoir approfondir eux même le projet ou se lancer seuls dans de nouveaux projets, je ne devais donc pas leur apporter une réponse à la moindre difficulté, mais plutôt les aiguiller pour qu'ils trouvent leur propre manière de résoudre le problème qu'ils rencontraient.

Le dernier jour, ils ont chacun pu repartir leur main, et étaient tous contents de ce qu'ils avaient produit. Les parents ont également fait des retours positifs, disant que leurs enfants avaient été très emballés par l'atelier. Certains enfants mêmes envisagent même de revenir à l'association pour participer à de futurs ateliers sur les robots Nao et Thymio !

4 Conclusion

J'ai eu la chance de mener au cours de ce stage un projet en accord avec mon objectif professionnel. Le fait que Sophie Sakka m'ait proposé de créer cet atelier et de l'encadrer pour l'association m'a permis de découvrir différentes facettes de la gestion de projet, tout en étant encadré et aidé par des personnes dans la réalisation de ces différentes tâches.

Tout cela m'a aidé à visualiser ce qu'étaient les contraintes auxquelles nous devons faire face pour mener à bien un projet dans un délai imparti. Dans ce contexte j'ai réussi à aller au bout de l'objectif, à savoir animer l'atelier durant la dernière semaine. Les 4 personnes inscrites ont toutes pu repartir avec leur propre main et avec, je l'espère, l'envie d'améliorer le projet que j'avais mis en place ou de se lancer seuls dans de nouvelles conceptions robotiques.

Le projet initial prévoyait de pousser la partie électronique un peu plus loin en portant le microcontrôleur de l'Arduino *Uno*, les composants nécessaires de la carte et les potentiomètres sur une plaque de **PCB**. Pour des raisons de complexité, de coût mais également de sécurité, le projet a été revu. En effet, cela incluait d'apprendre aussi aux participants à faire de la soudure et nécessitait donc du matériel et des compétences supplémentaires.

J'ai aussi pris conscience qu'il faut toujours prévoir une marge de manoeuvre lors de la réalisation d'un projet. Certaines tâches peuvent s'avérer plus longues que ce que l'on avait imaginé au départ et il est important de réaliser un planning dès le début. Il peut aussi parfois y avoir des tâches qui prennent du retard sans que cela soit forcément de notre fait (impressions ratées, réception tardives des commandes, etc...) et là encore le fait d'avoir anticipé en prévoyant une date butoir un peu plus loin que nécessaire peut s'avérer utile !

J'ai pu acquérir de nouvelles compétences en me livrant à un exercice que je n'avais encore jamais fait, à savoir réaliser un projet et développer des connaissances dans le but de les transmettre à un public, et lui permettre de réaliser le montage et la programmation de la main de façon autonome.

Dans les perspectives d'améliorations, il est possible d'envisager un progrès esthétique en remplaçant l'avant bras inclus dans le projet sur lequel je me suis basé par un socle fermé duquel ne ressortiraient que les potentiomètres. Cette nouvelle dimension du projet aurait nécessité de passer plus de temps pour faire de la **CAO**, conduisant ainsi à un dépassement de la durée du stage.

À mon sens, la gestion de projet est une compétence très importante lorsque l'on est ingénieur. Étant donné que ceci fait partie du projet professionnel auquel j'aspire, je pense que cela a été une chance énorme d'avoir pu expérimenter cela pendant ce stage.

Ce stage m'a enfin permis d'approfondir également mes connaissances dans le domaine de l'impression **3D**.

Références

- [1] (). “Association Robots !” Adresse : <https://www.association-robots.com/> (visité le 10/02/2021).
- [2] TECHMARTIAN. (). “3d printed robotic hand with bluetooth control,” Instructables, adresse : <https://www.instructables.com/3D-Printed-Robotic-Hand/> (visité le 06/01/2021).
- [3] G. CERRUTI, “Design and Control of a Dexterous Anthropomorphic Robotic Hand,” thèse de doct., Ecole Centrale de Nantes, 2016, 209 p.
- [4] ANYCUBIC, Usuer Manual Chiron.
- [5] (). “Ultimaker Cura : un logiciel d’impression 3D puissant et facile à utiliser,” ultimaker.com, adresse : <https://ultimaker.com/fr/software/ultimaker-cura> (visité le 13/01/2021).
- [6] IMT. (). “Imprimer en 3D,” FUN-MOOC, adresse : [//www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:MinesTelecom+04021+session10/about](http://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:MinesTelecom+04021+session10/about) (visité le 14/01/2021).
- [7] (). “Arduino - Home,” adresse : <https://www.arduino.cc/> (visité le 25/01/2021).
- [8] J.-C. CADIOU, LE LANGAGE DE PROGRAMMATION ARDUINO.