

GNG2501

Mise à jour du progrès du projet de conception

RhythmClaw

Soumis par:

Karine Gauthier, 300 356 587

Ignacio del Cid Nunez, 300 232 869

Marie-Frédérique Caron, 300 247 064

Arnold Nitchou, 300 457 736

Karim Torjmen, 300 156 574

Saifeddine Sakar, 300 388 370

Emmanuel Yoyo, 300 392 577

4 avril 2025

Université d'Ottawa

Table des matières

Table des matières.....	ii
Liste de figures.....	iv
Liste de tableaux	v
Liste d'acronymes et glossaire.....	vi
1 Introduction.....	1
2 Aperçu.....	2
3 Pour commencer	4
3.1 Description générale du système.....	4
3.2 Étapes spéciales pour la mise en marche	5
3.3 Considérations pour la configuration	6
3.3.1 Configuration matérielle	6
3.3.2 Configuration logicielle	6
3.4 Considérations pour l'accès des utilisateurs.....	7
3.4.1 Types d'utilisateurs.....	7
3.4.2 Restrictions et sécurité	7
3.5 Accéder/installation du système.....	7
3.5.1 Prototype physique.....	7
3.5.2 Prototype logiciel	8
3.6 Organisation du système & navigation	8

3.6.1	Prototype physique.....	8
3.6.2	Prototype logiciel	9
3.7	Quitter le système.....	9
4	Utiliser le système.....	10
4.1	Fonction/Caractéristique donnée.....	10
4.1.1	Interface Utilisateur : Commande des Notes	11
5	Dépannage & assistance	13
5.1	Messages ou comportements d’erreur.....	13
5.2	Entretien	14
5.3	Assistance.....	14
6	Documentation du produit	14
6.1	NDM (Nomenclature des Matériaux)	17
6.2	Liste d’équipements	18
6.3	Instructions	19
6.4	Essais & validation.....	23
7	Conclusions et recommandations pour les travaux futurs	25
8	APPENDICE I: Fichiers de conception	26

Liste de figures

Figure 1: Prototype final	2
Figure 2: Capture d'écran d'une section de l'interface	4
Figure 3: Exemple d'interface utilisateur pour la commande des notes	11
Figure 4: Exemple utilisation de la commande Your Sheet	12
Figure 5: Dessin du doigt.....	15
Figure 6: Visualisation du modèle 3D du boîtier.....	15
Figure 7: Arduino, ServoMoteur et ServoDriver.....	16
Figure 8: Schéma du circuit	16

Liste de tableaux

Table 1. Acronymes	vi
--------------------------	----

Liste d'acronymes et glossaire

Table 1. Acronymes

Acronyme	Définition
MUP	Manuel d'utilisation et de produit

1 Introduction

RhythmClaw est une main robotique qui a comme but de permettre une interaction avec de la musique pour des personnes à mobilité réduite avec inhabileté motrices fines. Le produit RhythmClaw inclus l'interface numérique ainsi que la main physique qui interagit directement avec le piano. Son développement a été fait dans le contexte du cours de GNG2501 - Introduction au développement de produits en génie et en informatique. Pour ce, nous avons été jumelés avec une start-up étudiante cherchant à promouvoir l'indépendance des individus à mobilité réduite en offrant un bras robotique mobile pouvant interagir avec l'environnement. Leur souhait était de créer une griffe modulaire permettant à l'utilisateur d'interagir avec la musique.

Afin de compléter ce projet, nous avons posé plusieurs hypothèses. La principale était que nous devons assumer que l'utilisateur typique de la griffe n'avait le contrôle en moyenne que d'un seul doigt. Ceci bien sûr ne signifie pas littéralement le contrôle d'un doigt mais représente plutôt la gamme de mobilité des clients de IndependenceRobotics. Autrement du côté de l'informatique nous posons l'hypothèse que notre interface développée sur ordinateur serait entièrement en mesure d'être transférée de manière cohérente vers le système interne utilisé par IndependenceRobotics.

Ce manuel permet de fournir les informations nécessaires aux utilisateurs pour manipuler notre système de manière efficace ainsi que documenter la création du prototype. Nous commencerons par donner un aperçu du projet. Ensuite, nous passerons aux considérations nécessaires à la navigation du système. Puis, nous rentrerons en détail par rapport à l'utilisation de la griffe, en enchaînant avec les détails de dépannage. Finalement, nous détaillerons la documentation du produit avant de conclure avec les recommandations pour les travaux futurs.

L'utilisation et la reproduction des informations incluses dans ce manuel d'utilisation et de produit est permise si et seulement si Independence Robotics permet l'utilisation de ceux-ci.

2 Aperçu

Au moins 10% de des Canadiens âgés de plus de 15 ans sont atteints par une condition qui limitent leur mobilité. Parmi cette population, il y a plusieurs qui requièrent de l'aide externe pour faire des diverses tâches tel que ramasser un objet, se brosser les dents et plus. Ceci crée une dépendance entre la personne handicapée et ceux qui la soutiennent. Independence Robotics, est une entreprise émergente et dynamique étudiante qui a comme mission d'accorder plus d'indépendance aux individus avec ce manque d'indépendance. Leur produit, un bras robotique mobile qui permettra à l'utilisateur d'interagir avec leur environnement sans avoir besoin d'aide. Le bras robotique a actuellement qu'une seule griffe qui aide à tenir des objets. Independence Robotics veut ajouter un système de modularité accessible au bras afin que plusieurs griffes modulaires puissent être interchangeables, tous avec des fonctions diverses.

RhythmClaw permet à l'utilisateur de ce bras robotique d'interagir avec de la musique, spécifiquement avec un piano. Cette griffe serait qu'une seule entre plusieurs différentes griffes qui permettrait d'accomplir des fonctions différentes afin que les utilisateurs d'un tel produit puissent accomplir le maximum de tâches indépendamment. Des études démontrent que la musique est importante pour la santé mentale puisqu'elle permet la stimulation d'une variété de structures dans le cerveau permettant une baisse d'anxiété et un soulèvement général du moral. De plus, un instrument tel le piano permet de promouvoir un sentiment de collaboration et de communauté.

Notre produit ne comprend pas énormément de compétition sur le marché en ce moment. Tenant en compte du fait que la solution doit être compatible spécifiquement avec le bras de IndependenceRobotics, RhythmClaw n'a aucun compétiteur direct. Cependant, il existe quelques projets de recherche par une variété d'institutions prestigieuses qui sont malheureusement très pesante, très chères et souvent ne sont qu'accessible qu'à ceux avec le contrôle moteur fin.



Figure 1: Prototype final

La griffe Rhythm Claw est formée de 3 doigts imprimé en 3D qui bougent le long de deux axes de rotation, de droite à gauche pour atteindre 3 notes chacun et de haut en bas pour jouer la note appropriée. Chaque doigt contient deux moteurs pour engendrer les mouvements correspondants. Chacun de ses systèmes est immobilisé par le boîtier haut et bas. C'est à l'intérieur

de celui-ci qu'on trouve le contrôleur des moteurs qui se connecte ensuite au microcontrôleur Arduino externe. Le contrôle du mouvement des doigts se fait au niveau de l'interface utilisateur, une interface graphique permettant non seulement de sélectionner la note à jouer, mais aussi de composer un morceau ou de jouer une pièce présélectionnée.

3 Pour commencer

Cette section présente le système RhythmClaw de l'installation initiale jusqu'à son utilisation. Le but est de guider l'utilisateur étape par étape afin qu'il puisse faire fonctionner le prototype rapidement, même sans connaissances techniques avancées.

3.1 Description générale du système

Le prototype RhythmClaw est une main robotique composée de plusieurs servomoteurs capables d'appuyer des touches de piano. Le contrôle de la main est assuré par une carte Arduino (munie du code de pilotage des servos), un servo driver PWM permettant de commander plusieurs servomoteurs à partir de signaux spécifiques et une application (interface graphique sur ordinateur) qui envoie des commandes en série (via USB) à l'Arduino pour jouer des notes ou des séquences musicales.

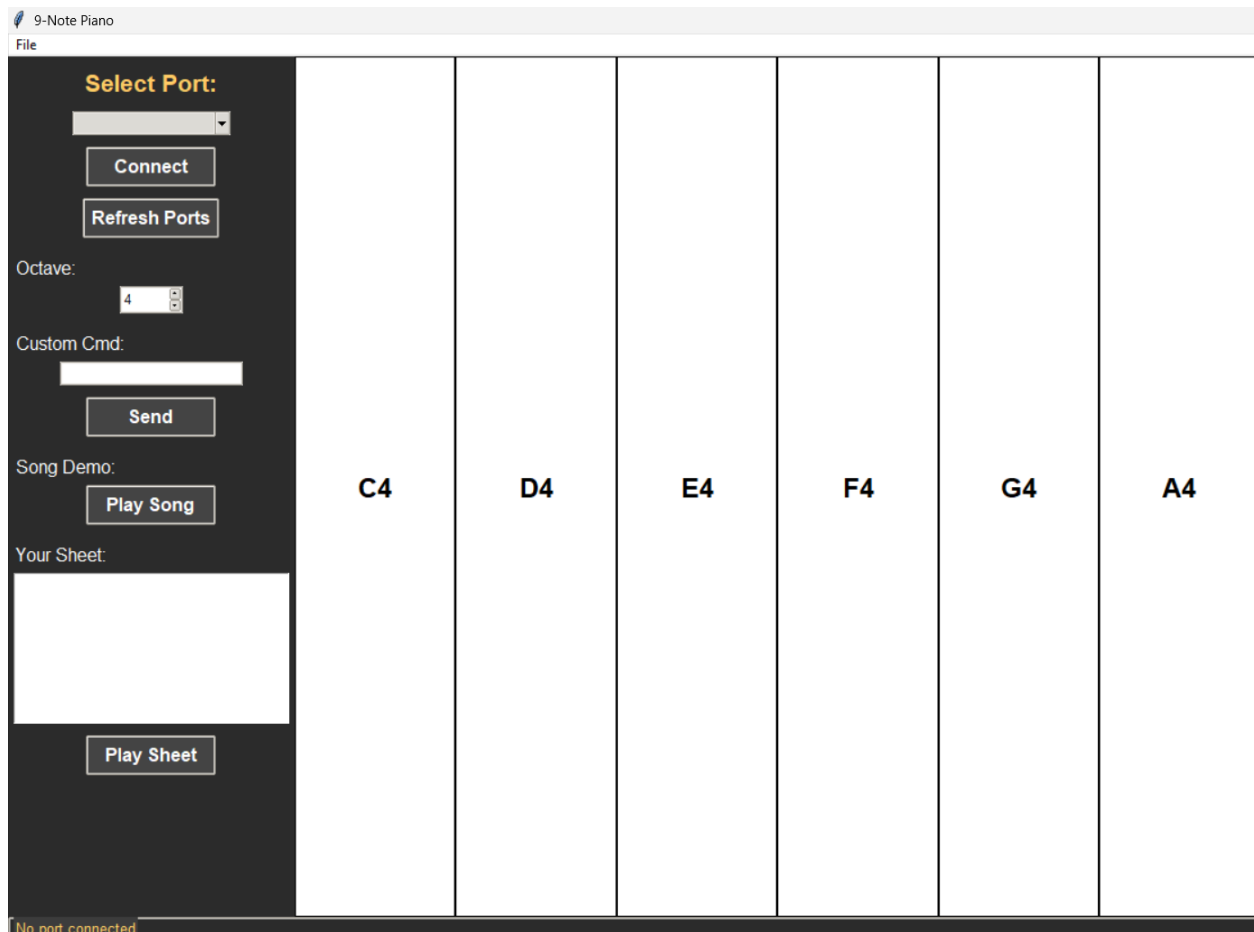


Figure 2: Capture d'écran d'une section de l'interface

Une fois que l'application est lancée, vous pouvez :

1. Sélectionner le port série (COM) de l'Arduino et cliquer sur **Connect**.
2. Choisir l'**Octave** souhaitée pour jouer des notes plus graves ou plus aiguës.
3. Saisir des commandes personnalisées dans "Custom Cmd" (ex. N1D pour "finger 1 down") et cliquer sur **Send**.
4. Cliquer sur **Play Song** pour exécuter une courte démo musicale.
5. Ou entrer manuellement des notes dans "Your Sheet", puis cliquer sur **Play Sheet** pour lancer la séquence.

3.2 Étapes spéciales pour la mise en marche

Pour avoir un bon fonctionnement du prototype suivez les prochaines étapes

1. **Assurer que les servomoteurs soient bien branchés :**
 - Connecter chaque servo au driver (fils signal, +5 V, GND).
 - Assurez-vous du respect des polarités et de la correspondance des canaux (channel 0, 1, 2, etc. en fonction de la configuration).
2. **Installer le code Arduino**
 - Ouvrir le Arduino IDE (version 1.8.x ou 2.x).
 - Installez la bibliothèque Adafruit_PWMServoDriver (via le Library Manager).
 - Copiez le code fourni (voir Figure 2) dans un nouveau sketch.
 - Branchez l'Arduino à l'ordinateur via USB et sélectionnez le bon type de carte (ex. Arduino Uno) et le bon port.
 - Téléversez (Upload) le code.
3. **Lancer l'application**
 - Ouvrez l'application (fichier exécutable ou page web, selon la technologie utilisée).
 - Sélectionnez le même port série que celui configuré dans l'IDE Arduino, puis cliquez sur **Connect**.
 - Vérifiez que le message de statut indique "Port connected" ou équivalent.
4. **Tester un premier jeu de notes**
 - Cliquez sur une note (ex. **C4**) ou utilisez le bouton **Play Song** pour vérifier que les servos réagissent en appuyant sur la touche correspondante du piano.
 - Si vous entendez la note jouée, c'est que la communication et la mécanique fonctionnent.
5. **Calibrer si nécessaire**

- Si l'angle du servo ne permet pas d'appuyer correctement sur la touche du piano, ajustez les valeurs `restV[]`, `restH[]`, `pressV[][]` ou `pressH[][]` dans le code (Figure 2) et renvoyez le code Arduino.
- Vous pouvez également régler physiquement les chapes/bras de servomoteurs pour obtenir un meilleur angle de pression.

3.3 Considérations pour la configuration

3.3.1 Configuration matérielle

Liste de matériel requis

- 1 × Carte Arduino (ex. Arduino Uno)
- 1 × Driver PWM (Adafruit 16-Channel PWM/Servo Driver)
- 6 × Servomoteurs pour les doigts
- Câbles de liaison + alimentation 5 V (Nous recommandons une batterie)
- Un piano ou clavier musical à touches (taille standard)

Schéma simplifié

- Les broches SDA et SCL de l'Arduino sont reliées aux entrées SDA et SCL du driver PWM.
- Les servomoteurs sont branchés sur les canaux CH0, CH1, CH2... selon la logique que vous avez définie dans le code.
- L'alimentation 5 V des servos est reliée à la broche V+ du driver PWM, et la masse (GND) commune est partagée avec l'Arduino.

3.3.2 Configuration logicielle

- **Bibliothèques Arduino**
 - `<Adafruit_PWMServoDriver.h>` est indispensable pour piloter le driver.
 - `<Wire.h>` pour la communication I2C entre l'Arduino et le driver.
- **Paramètres du code**
 - `SERVOMIN` et `SERVOMAX` définissent la plage de pulsations pour les servomoteurs (à ajuster si vous changez de modèle de servo).
 - `restV/ restH` : angles de repos (vertical/horizontal) pour chaque doigt.
 - `pressV / pressH` : angles de pression pour différentes positions (p. ex. note 1, note 2, note 3...).
- **L'application**
 - S'exécute sur un ordinateur ou une interface web (selon votre projet).
 - Envoie des commandes via le port série (USB) sous forme de chaînes de caractère comme `N1D` (note 1 descente) ou `N1U` (note 1 remontée).

- Dispose d'une zone "Custom Cmd" pour saisir manuellement les commandes, et de boutons prédéfinis pour jouer des démos.
- Dispose d'une zone 'Custom sheet' pour composer une musique de votre choix

3.4 Considérations pour l'accès des utilisateurs

3.4.1 Types d'utilisateurs

1. **Utilisateur final (musicien / démonstrateur)**
 - Veut simplement voir la main robotique jouer des notes ou exécuter un morceau.
 - Accède à l'application, sélectionne le port série, et lance l'exécution des notes.
2. **Technicien / intégrateur**
 - Monte les servomoteurs, effectue le câblage et l'alimentation.
 - Peut modifier le code Arduino pour ajuster les angles ou la vitesse.
 - Diagnostique les problèmes (calibration, problème de servo, etc.).

3.4.2 Restrictions et sécurité

- **Accès logiciel**
 - L'utilisateur "musicien" n'a pas besoin de modifier le code.
 - Le "technicien" ou "intégrateur" peut accéder à l'IDE Arduino pour recalibrer ou dépanner.
- **Précautions mécaniques**
 - Les servomoteurs peuvent chauffer ou se bloquer si mal alimentés ou mal calibrés.
 - Évitez de forcer manuellement les doigts lorsque le système est sous tension.
 - Vérifiez la solidité des fixations pour éviter que le servo ne se détache en fonctionnement.

3.5 Accéder/installation du système

3.5.1 Prototype physique

L'installation du prototype RythmClaw se fait en trois étapes simples :

1. **Montage mécanique :**
 - a. Emboîter les quatre doigts imprimés en 3D dans le boîtier inférieur.
 - b. Fixer chaque doigt à un Servomoteur SG90, puis insérer les Servomoteurs dans leurs logements prévus.
 - c. Refermer l'ensemble avec le boîtier supérieur.
2. **Câblage électrique :**
 - a. Connecter les Servomoteurs au Servo driver PCA9685.
 - b. Connecter le Servo Driver à la carte Arduino Uno (via SDA/SCL).

- c. Alimenter le Servo Driver avec une source externe 5V (min. 2A).
3. **Positionnement du système :**
 - a. Installer la griffe au-dessus du clavier d'un piano numérique, en alignant les doigts avec les touches.
 - b. S'assurer que la structure est stable (fixation à prévoir si nécessaire).

Ajustements possibles:

La hauteur de la griffe et l'angle des doigts peuvent être ajustés pour correspondre à la position du piano et aux besoins physiques de l'utilisateur.

3.5.2 Prototype logiciel

1. **Installation du logiciel :**
 - a. Ouvrir l'application RythmClaw sur un téléphone intelligent .
 - b. Le système détecte automatiquement les ports COM disponibles pour la carte Arduino connectée via USB.
2. **Connexion :**
 - a. Sélectionner le port COM correspondant à l'Arduino.
 - b. Une fois connecté, un indicateur visuel dans l'application confirme la liaison.
3. **Utilisation de l'application :**
 - a. L'utilisateur appuie sur une des neuf touches virtuelles.
 - b. Chaque touche active les moteurs correspondants, qui font bouger un doigt et appuyer sur une touche du piano.

Il n'est pas nécessaire de créer un compte utilisateur. Aucune authentification n'est requise. Le système est prêt à l'emploi dès que l'application est lancée et l'Arduino branché.

3.6 Organisation du système & navigation

3.6.1 Prototype physique

Le système est organisé autour de quatre composants principaux :

- La griffe robotisée : composée de trois doigts articulés.
- Les Servomoteurs : deux par doigt, insérés dans la griffe.
- Le Servo Driver (PCA9685) : gère les signaux PWM pour les moteurs.
- L'Arduino Uno: contrôle central, reçoit les signaux de l'application.

Les connexions entre les pièces sont linéaires et simples :

- Les moteurs sont câblés au driver
- Le driver est connecté à l'Arduino
- L'Arduino reçoit les commandes de l'application via port série.

3.6.2 Prototype logiciel

L'application d'ordinateur RhythmClaw est structurée en deux parties :

1-Écran d'accueil

- Permet de sélectionner le port COM détecté automatiquement par l'ordinateur.
- Affiche un indicateur de connexion (✓ une fois connecté).

2-Interface de jeu

- Affiche les neuf touches tactiles.
- Chaque pression déclenche une commande série vers l'Arduino.
- L'Arduino interprète la commande et active les Servomoteurs correspondants.

3.7 Quitter le système

La seule mise en garde nécessaire pour éteindre le système correctement, est d'éteindre la connexion des batteries.

4 Utiliser le système

Cette section vous guidera dans l'utilisation de la griffe conçu pour appuyer sur les touches d'un piano. Le système utilise des Servomoteurs pour simuler le mouvement d'un doigt humain et jouer des notes de piano. Suivez les étapes ci-dessous pour comprendre comment interagir avec le système.

4.1 Fonction/Caractéristique donnée

Description

Le système interprète l'entrée de l'utilisateur (une interface) et effectue le mouvement nécessaire pour appuyer sur la touche du piano.

Entrée :

Commande utilisateur : Appuyez sur une touche de l'interface (**9_Note Piano**) pour sélectionner une note. Chaque touche correspond à une note spécifique sur le piano.

Sortie :

- Le Servomoteur s'active et fait déplacer le doigt qui appuie sur la touche correspondante du piano.
- Une fois la touche enfoncée, le son de la note est produit par le piano.

Comportement attendu :

- **Activation du Servomoteur :** Lorsque l'utilisateur appuie sur une touche, le système envoie une commande au Servomoteur pour déplacer le doigt.
- **Mouvement du doigt :** Le doigt se déplace et appuie sur la touche sélectionnée du piano. Le mouvement est fluide et le Servomoteur ajuste la force appliquée pour garantir que la touche est correctement enfoncée.
- **Jouer de la musique :** Le système produit le son associé à la note sélectionnée.

Ajustements et Paramétrage

- La hauteur de la griffe et l'angle des doigts peuvent être ajustés pour s'adapter à la position du piano et aux besoins de l'utilisateur.

4.1.1 Interface Utilisateur : Commande des Notes

Description

L'interface utilisateur permet de commander les différentes notes que la griffe doit jouer. Cela est réalisé via un clavier virtuel attribués aux notes du piano.

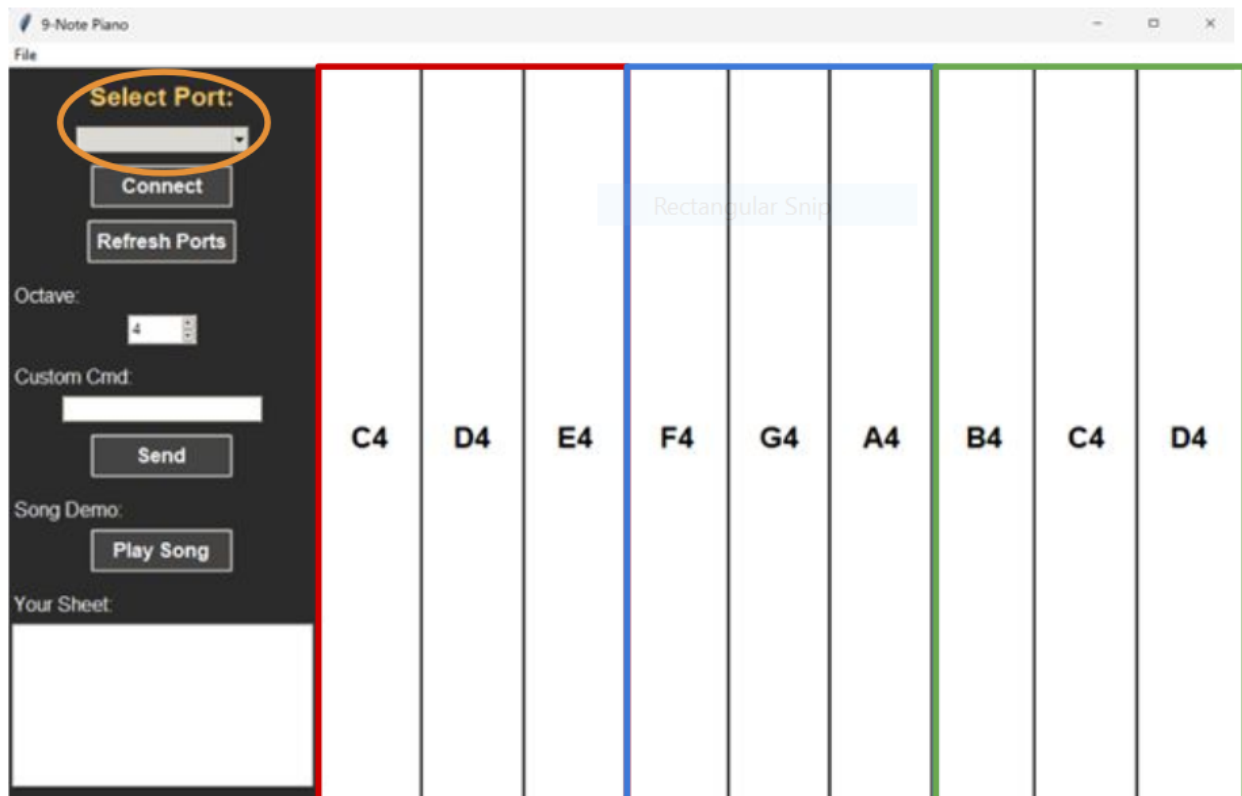


Figure 3: Exemple d'interface utilisateur pour la commande des notes

Entrée :

Un écran affichant une section du clavier de piano sur lequel l'utilisateur peut cliquer pour jouer des notes : **9_Note Piano**

- Le deuxième doigt est activé par les touches : **F4** et

Commandes de Contrôle

- Le troisième doigt est activé par les touches :
- L'interface de jeu affiche 9 touches tactiles :

- Le premier doigt est activé par les touches : **C4; D4 et E4 ;**
F4 ; G4 A4
B4; C4 et D4

Interaction avec l'Interface

- Sélectionner le port COM (**Select Port**) correspondant sur l'interface
- Un indicateur de connexion (✓ une fois connecté).
- L'utilisateur appuie sur une touche virtuelle).
- L'utilisateur peut aussi jouer un Démo Song déjà incorporé au système en cliquant sur **Play Song**
- L'utilisateur peut aussi composer ses notes en utilisant la fonction **Your Sheet** puis cliquer sur **Play Sheet**

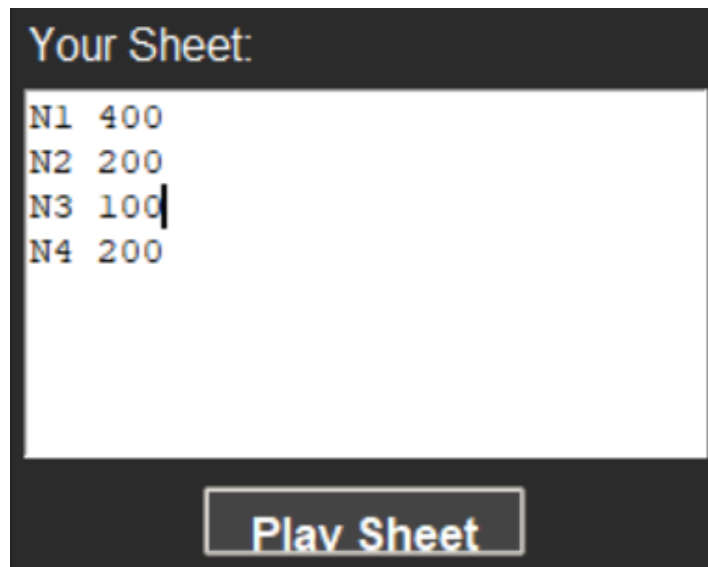


Figure 4: Exemple utilisation de la commande Your Sheet

Sortie :

- Lorsqu'une touche est sélectionnée, un signal est envoyé au Servomoteur pour appuyer sur la touche du piano correspondante.
- Lorsque l'utilisateur clique sur **Play Song**, le système joue automatiquement une chanson préenregistré
- Lorsque l'utilisateur clique sur **Play Sheet**, le système joue automatiquement la chanson composée par l'utilisateur

Comportement attendu :

- Lorsque l'utilisateur appuie sur une touche ou un bouton, le système active le Servomoteur associé et fait descendre le doigt robotique pour appuyer sur la touche du piano, produisant ainsi le son souhaité.

5 Dépannage & assistance

Cette section fournira les étapes à suivre en cas de problème lors de l'utilisation de la griffe. Que ce soit une erreur technique, un dysfonctionnement ou une question sur l'entretien, vous trouverez ici les informations nécessaires pour réagir rapidement et efficacement. Ces instructions sont destinées à être suivies même par des utilisateurs sans connaissances en ingénierie.

5.1 Messages ou comportements d'erreur

Voici une liste des problèmes les plus fréquents et les solutions associées :

Message/Problème	Cause probable	Action corrective
Aucun mouvement du doigt	- Servomoteur non alimenté ou défectueux ou aucun signal	- Vérifiez l'alimentation et changez le Servomoteur si nécessaire; vérifier la batterie externe est allumée
Le doigt ne revient pas à sa position initiale	- Blocage mécanique ou erreur de calibration	- Vérifiez s'il y a un obstacle, réinitialisez l'application (8_note Piano)
Note ne produit aucun son	- Piano éteint / mauvais positionnement du doigt	- Allumez le piano (ou augmenter le volume), repositionnez la griffe
Interface non réactive	- Mauvaise connexion série / port COM incorrect	- Vérifiez la connexion USB et sélectionnez le bon port COM
Commande non reconnue par l'Arduino	- Mauvais code ou signal incomplet	- Redémarrez l'application et reconnectez; vérifier la batterie externe.

5.2 Entretien

Les batteries ne sont pas très fortes, donc ils requièrent un remplacement si la fonction commence à diminuer.

5.3 Assistance

L'assistance avec des problèmes pour ce prototype peut être fait par moyen de contact avec le support technique d'IndependenceRobotics. Inclure le nom du produit ainsi que le deuxième nom inclus sur la page titre de ce rapport.

6 Documentation du produit

Le prototype complet peut se diviser en trois composantes ; électrique, informatique et logiciel tous dépendante l'une de l'autre. Ceci fait en sorte que la coopération et la vérification de chaque sous-système fut important tous au long du développement du prototype.

La conception du prototype complet c'est réaliser l'entour du prototype physique mécanique. Nous avons soigneusement recueilli et calculer les dimensions du boîtier afin que celui-ci soit compatible avec la taille réelle du piano. Une autre considération influençant la taille du boîtier était la taille des Servomoteurs. En ayant ceux-ci à l'horizontale afin de permettre la rotation du doigt, ceci ajouter significativement la distance entre chaque doigt et par conséquent, entre chaque touche. Nous avons donc conclu qu'avec tous ces limites, la distance optimale entre chaque Servo Driver était de 26mm en considérant que chaque Servomoteur occupait 16mm. Une autre dimension que nous devions déterminer était l'espace de flexion du doigts, c'est à dire l'espace verticale où doigt est libre de bouger. Après nombreuse essais et itérations, nous avons déterminer que l'angle optimal où le doigt générerait suffisamment de puissance pour appuyer sur une touche était de 30 degrés. Nous avons donc ajusté la dimension verticale à cet angle à 45mm. Le matériel utilisé devait respecter la contrainte de poids de 500g tout en restant rigide et sécuritaire. Nous avons donc choisi d'utiliser le PLA de remplissage pour satisfaire ces contraintes tous en restant abordable et facilement accessible et modifiable face aux itérations. Une fois le modèle final 3D fut terminé, nous avons imprimer la pièce à l'aide d'une imprimante 3D avec 5% de remplissage.

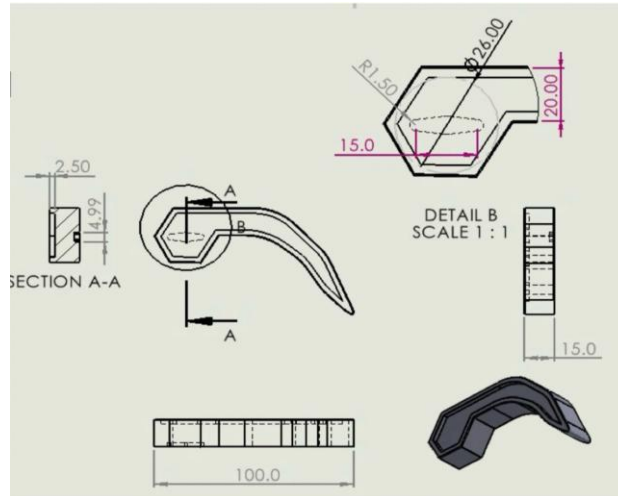


Figure 5: Dessin du doigt

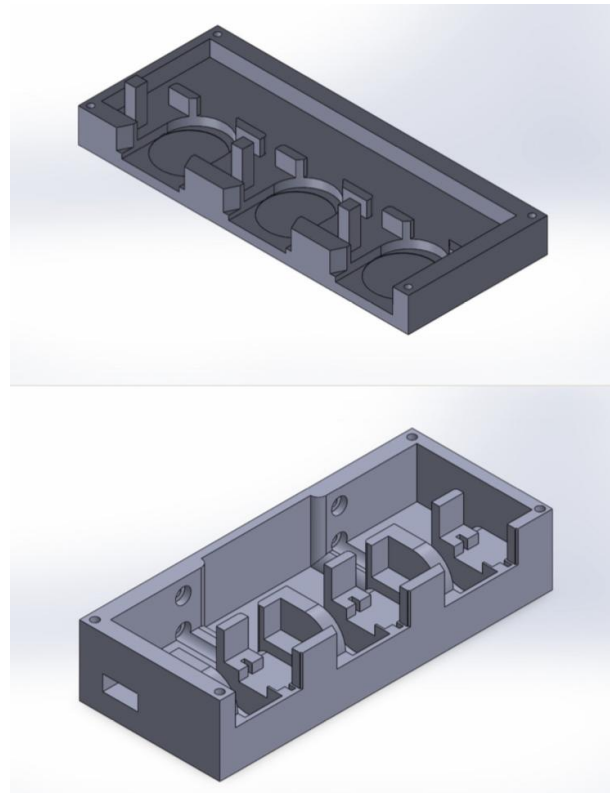


Figure 6: Visualisation du modèle 3D du boitier

Pour le sous-système électrique, l'objectif était de connecter le Arduino au Servo Driver pour ensuite connecter aux quatre Servomoteur ainsi que de fournir suffisamment de puissance pour alimenter les quatre Servomoteurs simultanément. La conception électrique du prototype devait être

efficace tous en restant sécuritaire pour l'utilisateur. Le circuit nécessite 4 fils partant du Arduino vers le ServoDriver pour se connecter à celui-ci. Ensuite, les quatre câbles respectifs pour chaque Servomoteur sont connecter aux Servomoteur des ports respectifs pour permettre une connexion complète entre les Servomoteur et l'Arduino. En ce qui concerne l'alimentation, le prototype est alimenté par quatre batteries AA de 1.5V connecter au Servomoteur. Le choix du voltage de la batterie assurance suffisamment de puissance pour activer simultanément chaque Servomoteur tous en restant sécuritaire et respect les contraintes associer à la partie électrique du prototype. Bien que l'ajout du Servo Driver augmente le coût du prototype, il est essentiel aux contrôles des quatre Servomoteur. Les câbles utiliser pour les connexions entre les composantes sont des câble de base de cuivre pour une connexion efficace, fiable et sécuritaire.

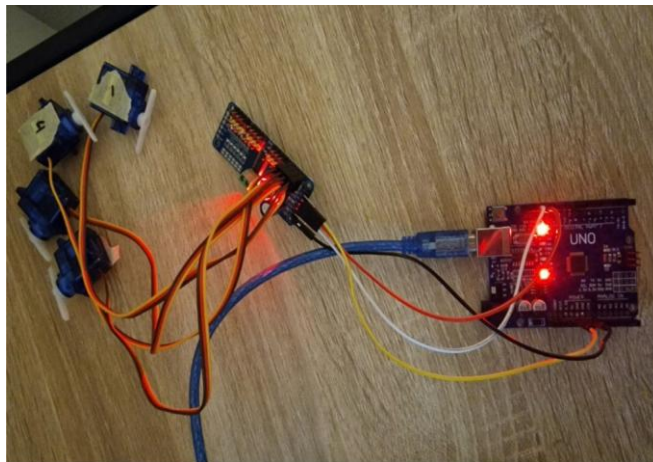


Figure 7: Arduino, ServoMoteur et ServoDriver

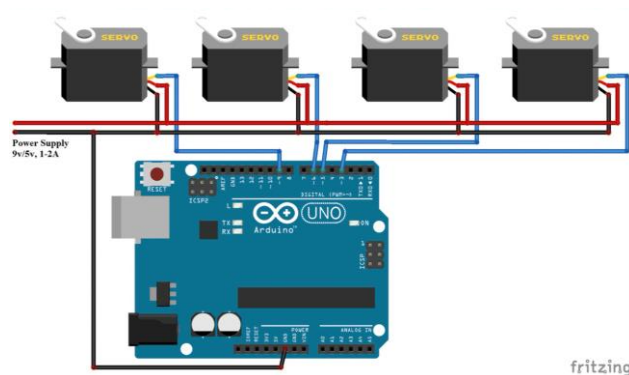


Figure 8: Schéma du circuit

Pour la conception logiciel, l'objectif était de concevoir une interphase tactile permettant l'interactivité entre l'utilisateur et les doigts. Nous devons séparer l'implémentation du code pour les fonctionnalités du Arduino et de l'interphase. Pour le développement logiciel de l'interphase,

nous avons utilisé la langue de programmation Python. Nous nous sommes servis de plusieurs bibliothèques tel que ; Tkinter, PySerial. Nous avons sélectionné Python come langages de programmation car il est optimal pour le développement d'interphase. Pour l'implémentation des fonctions du Arduino, nous nous sommes servis du logiciel Arduino IDE pour implémenter des commandes répondant aux fonctions suivantes ; la sélection d'une note, de détenir la note pour un certain temps, la composition d'une chanson pour être implémenté et joué par griffe.

6.1 NDM (Nomenclature des Matériaux)

Matériel						
# Item	Composante	Description	Quantité	Coût unitaire	Coût	Lien
1	Poignet	PLA	100g	0.023\$/g	2.3\$	Lien
2	Doigts	PLA	40g	0.023\$/g	0.92\$	Lien
3	Boitier du bas	PLA	150g	0.023\$/g	3.45	Lien
4	Boitier du haut	PLA	50g	0.023\$/g	1.15\$	Lien
5	Petites vis (boitier haut et boitier bas)	M3-0.5x8m- Stainless Steel 304	4	0.66\$/unit	2.64\$	Lien
6	Boulons (boitier de bas et poignet)	M5	12	0.15\$/unité	1.8	Lien
7	Vis (boitier bas et poignet)	M5 x 16mm – Stainless Steel 304	4	0.66\$/unité	2.64	Lien
8	Boulons (boitier haut et boitier bas)	M3-0.5- Stainless Steel	8	0.14\$/unité	1.12\$	Lien
9	Servomoteur	10 Volts	6	2.90/unité	17.4\$	Lien
10	Arduino	R3	1	15.25\$/unit é	15.25\$	Lien
11	Servo Driver	Miuzei SG90	1	10.58\$/unit é	10.59\$	Lien
Logiciels						
# Item	Logiciel				Coût	Lien
12	SolidWorks				0\$	Lien
13	On Shape				0\$	Lien

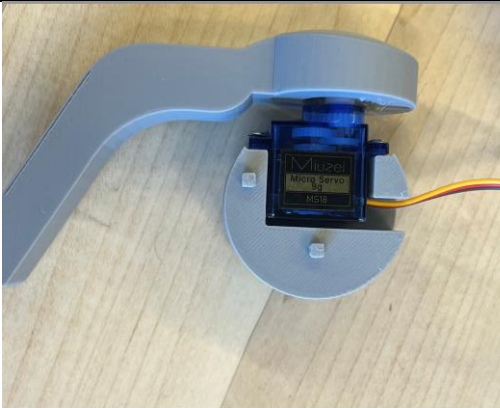
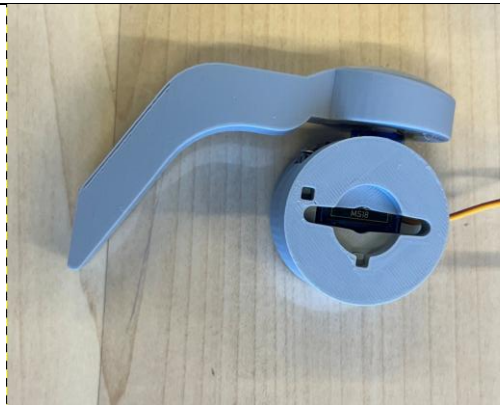
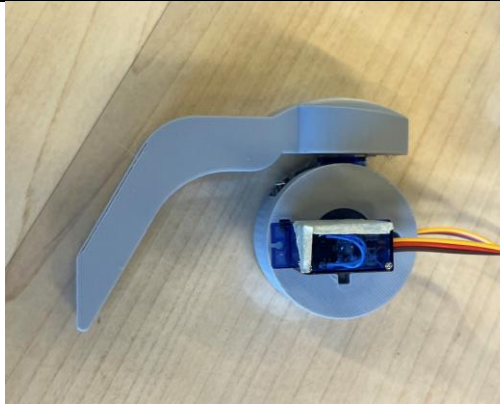
14	Arduino IDE	0\$	Lien
15	Python Launcher	0\$	Lien
Coût total		53.45\$	
Coût total avec taxes		60.40\$	

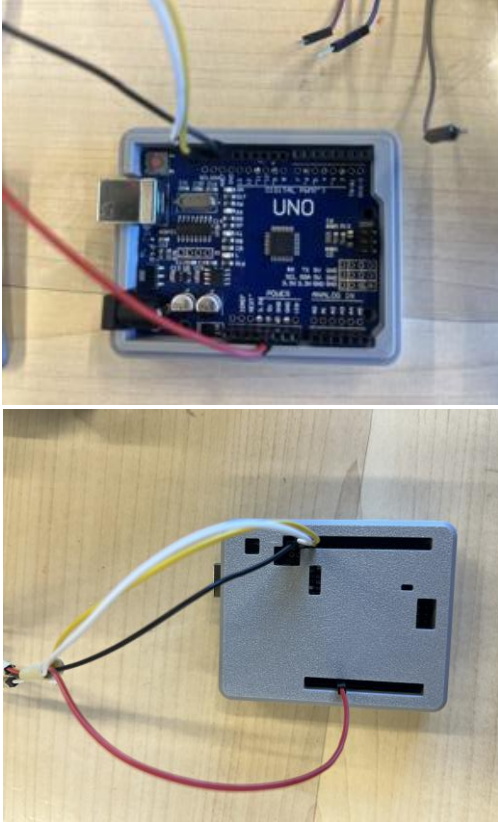
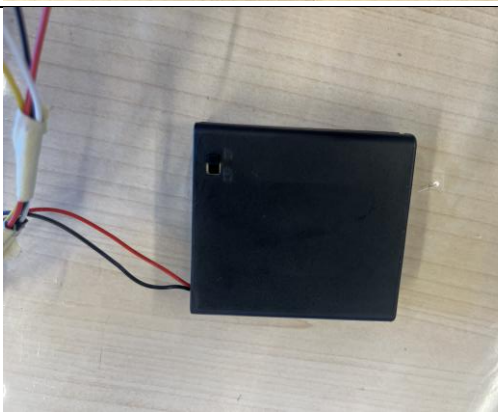
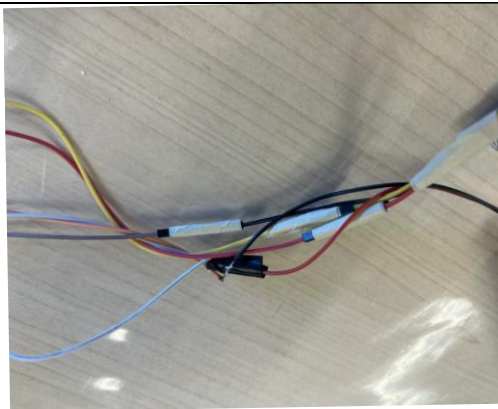
6.2 Liste d'équipements

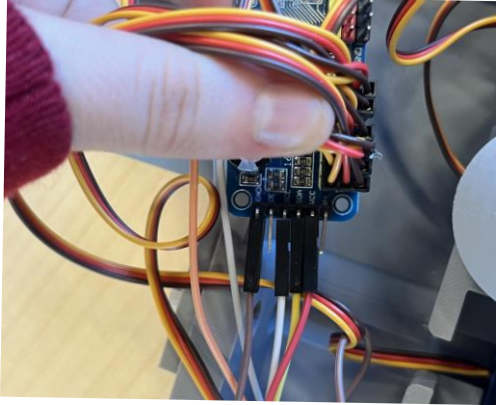
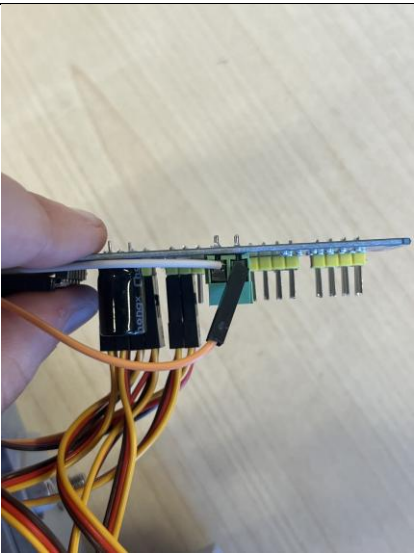
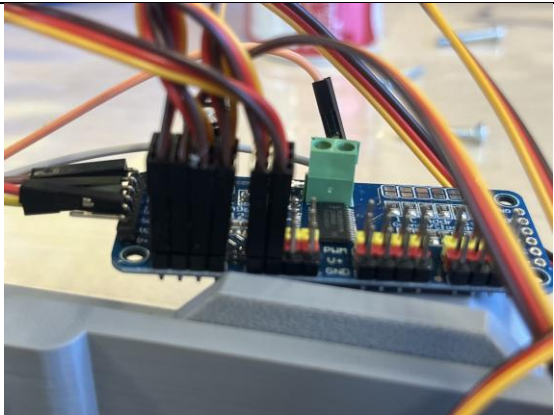
Équipement	Description	Lien
Imprimante 3D	L'imprimante 3D fut utiliser pour réaliser tous les pièces 3D tel que le boitier, le doigt, le moteur rotatif de doigt, le poignet et le boitier à Arduino. L'imprimante utiliser fut le modèle de Bambu Lab P1S 3D printer	Lien
Ensemble de soudure	Nous avons utilisé un ensemble de soudure afin de souder des différents câbles ensemble.	Lien

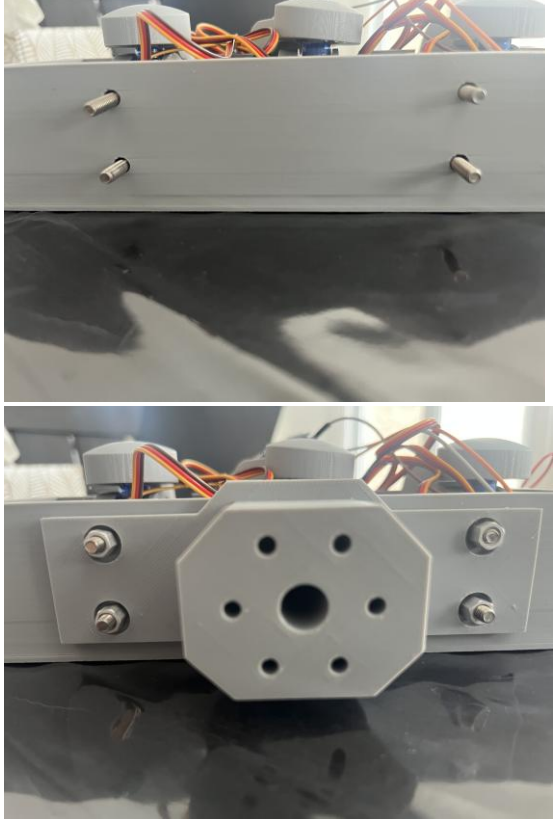
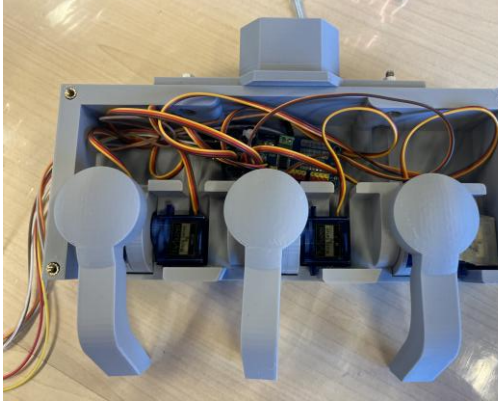
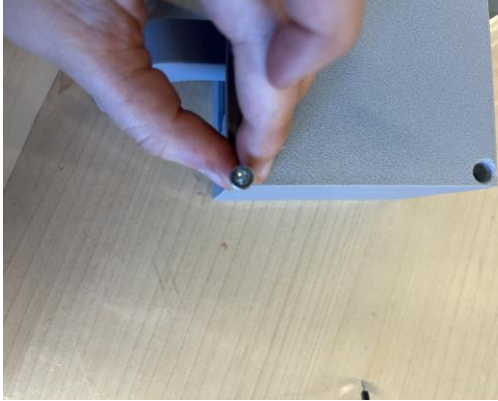
6.3 Instructions


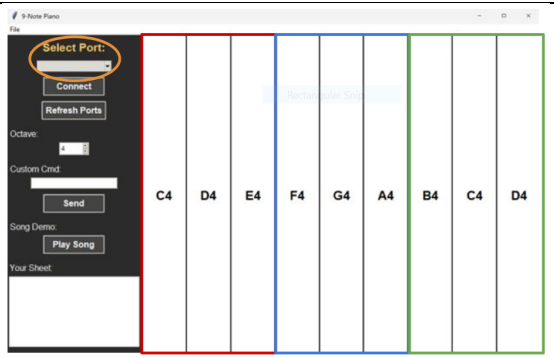
Tous les éléments et pièces pour ce produit se trouveront dans la trousse d'assemblage ce qui inclus ; 6 Servomoteur, 1 Servo Driver, 1 Arduino, le boîtier du haut, le boîtier du bas, les 3 doigts, 3 moteur rotatif de doigts, le poignet, 4 petites vices (M3 – 0.5x80mm), 12 boulons (M5), 4 vis (M5x16mm), 8 boulons (M3-0.5mm), 4 batteries AA de 1.5V incluant le boîtier de batterie, et le boîtier à Arduino. Le tableau ci-dessous présente une description détailler de chaque étapes nécessaire pour concevoir le prototype.

Étape	Description	Images
#1	Insérez un Servomoteur dans la partie inférieure du moteur rotatif du doigts. Ensuite, insérez les “ails” du Servo Moteur dans le doigt.	
#2	Fermer le moteur rotatif du doigt à l'aide de la partie supérieur du moteur rotatif de doigt.	
#3	Insérez un second Servomoteur dans la partie circulaire du moteur rotatif du doigt et répétez les étapes de 1 à 3 pour les deux autre doigts.	

#4	<p>Insérez le Arduino dans la partie inférieure du boîtier d'Arduino et connecter un câble dans le port 5V, un câble dans le port SCL, un câble dans le port SDA et un autre câble dans le port GND, ensuite fermer le boîtier à l'aide de la partie supérieur.</p>	
#5	<p>Insérez les quatre batteries AA 1.5 V dans le boîtier de batteries.</p>	
#6	<p>À l'aide extension de fil, connectez les fils partent du Arduino et des batteries à leur fils respectif. Il est recommandé d'ajouter du ruban adhésif afin de sécuriser la connexion.</p>	

#7	Connectez le fil partant du GNG du Arduino au GNG du ServoDriver, le SCL du Arduino aux SCL du ServoDriver, le SDA du Arduino au SDA du Servo Driver et finalement le 5 V du Arduino VCC du Servomoteur.	
#8	Connecter le fil du voltage supérieur dans le port + et le fil du voltage inférieur des batterie dans le port de l'alimentation vert.	
#9	Connecter le premier Servomoteur qui correspond au Servomoteur inférieur du premier doigt se trouvant à la droite et insérer le dans le premier port d'insertion de Servomoteur, suivis du Servomoteur supérieur du premier doigt se trouvant à la droite. Suivez cet ordre pour les deux autres Servomoteur.	

#10	<p>Vissez le poignet en place à l'aide de quatre 4 vis (M5x16mm) et des quatre boulons (M3-0.5mm) à l'aide d'un tournevis.</p>	
#11	<p>Insérez chaque Servomoteur dans leurs espace respectif dans le boitier inférieur et inclure le système du Servo Driver dans le Boitier.</p>	
#12	<p>À l'aide des quatre petites vis (M3 – 0.5x80mm), visser le boitier du haut au boitier du bas à l'aide d'un tournevis.</p>	

#13	Connecter l'extension USB du Arduino et connecter le à votre appareil électronique de choix.	
#14	Connecter le port USB dans votre appareil électronique et vous connecter à l'application RhythmClaw où vous pouvez accéder à l'interphase clients.	

6.4 Essais & validation

En suivant un modèle itératif de conception, plusieurs essais ont été posés aux différents prototypes pour ensuite appliquer la rétroaction lors du développement du prochain prototype.

Premièrement, nous avons pu tester la compatibilité des différentes pièces ainsi qu'établir des dimensions des partie physique du prototype qui inclus; le poignet, le doigts et le boîtier à l'aide de l'assemblage visuel à l'aide du logiciel SolidWorks et nous avons pu ensuite vérifier ceci à l'aide de la réalisation du prototype physique à l'aide de l'imprimante 3D. Nous avons aussi adapté ces dimensions en respectant la progression du prototype. Ceci nous a permis de vérifier le mécanisme de liaison et d'assurer une bonne intégration du système complet tout en respectant les dimensions du piano. Ces tests ont été posés au deux différents prototypes et nous ont permis de vérifier le sous-système du prototype physique.

De plus, nous avons testé la capacité au doigts d'appuyer sur les touches. Ce test était posé pour déterminer la puissance minimale nécessaire afin que le Servomoteur génère suffisamment de force pour appuyer sur une touche. Le voltage de base de 5V fournit par le Arduino était suffisant pour un doigt, mais il n'assurait pas ceci pour plus d'un doigt en même temps. Cette fonction fut nécessaire surtout pour le dernier prototype où le mouvement d'un doigt demandait l'activation de

deux Servo Driver. Nous avons augmenté la puissance à l'aide de quatre batterie AA 1.5V nous permet de vérifier le sous-système électrique du prototype.

Nous avons donc ensuite posé un ensemble de teste de communication servant à recueillir de l'information nécessaire du comportement du doigts. Nous voulions calculer le temps d'oscillation (temp nécessaire pour le doigt à appuyer sur une touche) et l'angle nécessaire au doigts pour appuyer sur une touche. Les résultats des tests ont varié selon le prototype pour accommoder leurs différent fonctions. Nous avons présenté ces donner dans un tableau ci-dessous.

# Prototype	Temps d'oscillation	Angle vertical	Angle Horizontal
1	0.55 s	30 °	NA
2	1.1 s	30 °	24 °

7 Conclusions et recommandations pour les travaux futurs

Au cours du projet, nombreuse leçons importante ont été apprises sur plusieurs niveaux. Au niveau de la conception, nous avons constaté comment il est important que le client soit au centre du processus de développement. En ayant une bonne communication active et continue, ceci nous permet de s'assurer que les besoins du client soient comblés, ce qui est un aspect essentiel pour le succès du prototype final. En ce qui concerne l'aspect technique des prototypes, notre équipe a pu développer des connaissances sur l'intégration des systèmes mécanique, électrique et logiciel dans un prototype. En particulier sur la compatibilité de l'assemblages des pièces, l'alimentation électrique et la commande du systèmes grâce au Arduino. Il est donc important de prioriser la communication entre les différents groupes (électrique, mécanique et logiciel) afin d'assurer un système cohérent entre les différentes parties du produit. De plus, nous avons pu réaliser l'importance de l'itération surtout pour un produit comme le nôtre. Le modèle itératif est crucial pour tester plusieurs phases du prototype et évaluer et valider chaque itération posée. Ceci nous a permis d'avoir un produit final optimal en apportant des améliorations continues en identifiant les défauts, optimisant les dimensions et en améliorant l'intégration des composantes.

Pour ce qui est n'est des travaux futurs, nous avons noté plusieurs améliorations qui pourront être apportés qui n'ont pas été possible avec les contraintes de temps, de budget et des ressources et connaissance limitées. Premièrement, nous tenons accélérer la vitesse de réaction des doigts en optimisant le contrôle des servomoteurs. Ceci requiert l'utilisation d'algorithmes plus efficaces ainsi que des servomoteurs plus performants. Cette amélioration apporterait un fonctionnement plus fluide et rapide des doigts en réduisant le temps d'activation des doigts. De plus, nous tenons à implémenter un module Bluetooth qui remplacerait la connexion par fil avec une connexion sans fil, rendant le système plus portable et pratique. Une autre amélioration logicielle serait de développer un code qui rendra l'interphase de l'application accessible à plusieurs appareils électriques, surtout pour les tablettes électriques. Finalement, une étude esthétique du prototype améliorerait l'apparence et l'ergonomie général produit, le rendant plus désirable et attrayant aux yeux tous en conservant ces fonctionnalités.

8 APPENDICE I: Fichiers de conception

https://youtu.be/_KvO8To6SQM

<https://makerepo.com/mariefrecaron/2515.rhythmclaw>