

GNG2501

**Mise à jour du progrès du projet de conception**

**RythmClaw**

Soumis par:

Arnold Nitchou, 300 457 736

Ignacio del Cid Nunez, 300 232 869

Karine Gauthier, 300 356 587

Marie-Frédérique Caron, 300 247 064

Saifeddine Sakar, 300 388 370

Karim Torjmen 300 156 574

Emmanuel Yofo, 300 392 577

14 mars 2025

Université d'Ottawa

# Table des matières

Table des matières.....	ii
Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux.....	v
Liste des acronymes et glossaire.....	vi
1 Introduction.....	1
2 Prototype 1, présentation sur le progrès du projet, rétroaction des pairs et dynamique d'équipe.....	2
2.1 Prototype 1 .....	2
2.1.1 Prototype Mécanique .....	2
2.1.2 Prototype Électrique.....	6
2.2 Présentation sur le progrès du projet .....	10
2.3 Plan de projet.....	11
3 Contraintes de conception et prototype 2.....	12
3.1 Contraintes de conception .....	12
3.2 Prototype 2 .....	13
3.2.1 Analyse des rétroactions .....	13
3.2.2 Prototype Mécanique .....	14
3.2.3 Prototype Électrique.....	17
3.2.4 Résultats.....	20
3.2.5 Préparation pour la rencontre client.....	20
3.3 Plan de projet.....	23
4 Considérations économiques et propriétés intellectuelles .....	24
4.1 Rapport d'économie .....	24
4.1.1 Coûts .....	24
4.1.2 Profits de pertes.....	25
4.1.3 Analyse VAN.....	28
4.1.4 Hypothèses Critiques .....	29
4.2 Importance des propriétés intellectuelles .....	31
4.2.1 Introduction aux Propriétés Intellectuelles .....	31

4.2.2	Marques de commerce .....	32
4.2.3	Brevets .....	33
4.3	Plan de projet.....	35
5	Conclusions.....	36
6	Bibliographie.....	37

## Liste des figures

Figure 1 : Itérations de composantes imprimées.....	3
Figure 2 : Circuit pour le contrôle d'un seul doigt.....	3
Figure 3 : Mouvement du doigt grâce au servomoteur .....	4
Figure 4: Doigt jouant une note de piano.....	4
Figure 5 Prototype physique électrique - 3 servomoteurs .....	8
Figure 6: Capture d'écran du diagramme Gantt pour les livrables E, F et G .....	11
Figure 7: Test 1 – compatibilité du boîtier bas et 4 doigts .....	15
Figure 8: Test 2 – comptabilité du boîtier haut et bas.....	15
Figure 9: Test 3 – doigt 'double' alternatif .....	16
Figure 10: Prototype servo driver .....	19
Figure 11: Capture d'écran du diagramme de Gantt pour les livrable F, G et H .....	23
Figure 12: Analyse VAN .....	29
Figure 13: Capture d'écran du diagramme de Gantt pour les livrable G, H et F .....	35

## Liste des tableaux

Tableau 1: Acronymes .....	vi
Tableau 2: Prototypes mécaniques.....	2
Tableau 3: Résultats des tests .....	5
Tableau 4: Prototypes électriques .....	6
Tableau 5: Test effectués du prototype mécanique.....	14
Tableau 6: Résultats du prototype mécanique .....	16
Tableau 7: Test effectués du prototype électrique .....	17
Tableau 8: Résultats du prototype électrique.....	20
Tableau 9: Liste des coûts.....	24
Tableau 10: Compte de profit et de perte de l'année 1 .....	26
Tableau 11: Compte de profit et de perte de l'année 2 .....	27
Tableau 12: Compte de profit et de perte de l'année 3 .....	27
Tableau 13: Résumé des Résultats Financiers .....	28
Tableau 14: Flux des profits .....	28

# Liste des acronymes et glossaire

Tableau 1: Acronymes

Acronyme	Définition
CPX	Conception pour X

# **1 Introduction**

Maintenant que nous avons exécuté la conception détaillée de notre concept, il est nécessaire de vérifier celle-ci ainsi que nos hypothèses critiques dressés lors du livrable D. Pour ce, nous créeront notre premier prototype. Similairement à la conception détaillée, ce prototype se sépare en deux parties, un côté mécanique et un côté électrique. Pour chacun de ces volets, nous présenterons nos hypothèses critiques pertinentes ainsi que leurs liens aux CPX, un aperçu de la création des sous-systèmes testés ainsi que les tests concernés et finalement les résultats de ceux-ci.

## 2 Prototype 1, présentation sur le progrès du projet, rétroaction des pairs et dynamique d'équipe

### 2.1 Prototype 1

#### 2.1.1 Prototype Mécanique

##### 2.1.1.1 Hypothèses Critiques

Au dernier livrable, nous avons établi une série d'hypothèses critiques au succès de notre projet. De celles-ci, nous avons sélectionné ce qui, d'après nous, représente les fonctions mécaniques clés du système qui doivent tout à fait être confirmées. La première de celles-ci est que chacune des parties du système sont compatible l'une avec l'autre. Ensuite, que le doigt a suffisamment de force pour appuyer sur les touches du piano. Et finalement, que le poids de notre griffe se trouve dans l'intervalle acceptable décrite par le client.

Tableau 2: Prototypes mécaniques

Objectif du prototype	Critère d'évaluation	Niveau de fidélité	Type de prototype	Métrique	Description du test et méthode
Communication	Compatibilité de toutes les pièces	Moyenne	Virtuel	Poids approximatif (en grammes)	Faire un assemblage du système entier pour vérifier l'ensemble, assurer la comptabilité et calculer le poids approximatif sur SolidWorks
Apprentissage	Capacité du doigt à jouer une note	Moyenne	Physique	Niveau de descente de la touche de piano ( $\Delta h$ en mm) et angle de descente	Imprimer une portion du boîtier du bas, ainsi qu'un doigt, le connecter au moteur et une carte Arduino avec le code approprié. Évaluer la capacité du doigt bougeant grâce au moteur de faire descendre la touche du piano.

##### 2.1.1.2 Le prototype mécanique

Le test du prototype de communication nous permettra de se rapporter aux CPX d'assemblage et de sécurité, en assurant la compatibilité des composantes ainsi que le poids du système (assurer aucune chute du robot). De l'autre côté, notre test physique d'apprentissage se fera en lien avec le CPX de fiabilité et de simplicité, en confirmant l'aptitude de la griffe à compléter la tâche et les composantes nécessaires pour l'accomplir. Documentation du prototype

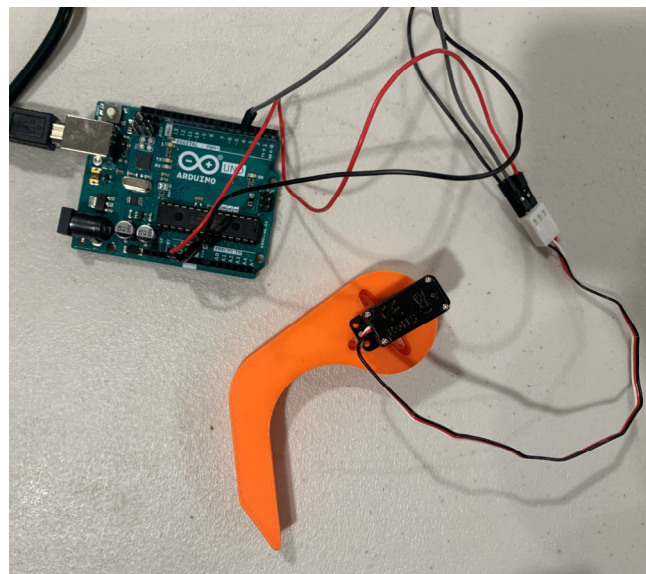


Pour le prototype physique, nous avons commencé par fabriquer les parties d'intérêt par impression 3D à base des modèles créés lors de la conception détaillée. Nous cherchions à mettre en œuvre le doigt du système, d'où nous avons imprimé le doigt lui-même, ainsi qu'uniquement la section du boîtier du bas pertinente à son mouvement. Bien sûr, ceci prit quelques essais et ajustements minimes des dimensions utilisées lors de la modélisation 3D.



**Figure 1 : Itérations de composantes imprimées**

Puis, une fois que les dimensions des composantes étaient satisfaisantes, nous avons monté le circuit à l'aide de la carte Arduino et un servomoteur.



**Figure 2 : Circuit pour le contrôle d'un seul doigt**

Utilisant un code simple permettant de tourner le moteur jusqu'à un angle spécifié, nous avons évalué la capacité du système à faire monter et descendre le doigt.



**Figure 3 : Mouvement du doigt grâce au servomoteur**

Suivant ceci, nous avons pris le prototype physique et nous l'avons mis à l'essai sur un piano électrique. Utilisant seulement l'un des doigts nous avons tenu le boîtier à un niveau où il pouvait frapper la note. En tenant le moteur en place avec une main, nous avons activé le moteur, ceci a permis au doigt de jouer une note avec succès, nous avons clairement constater le son sortant du piano. Le moteur avait une rotation d'une position de  $40^\circ$  à  $100^\circ$  (rotation de  $60^\circ$ ), et l'estimation du niveau de descente de la note est de 2 à 3mm. Cependant, ces deux valeurs sont variables puisque nous devons tout de même ajouter le boîtier de haut qui a possibilité de réduire la mobilité de la rotation, ainsi que la position verticale du doigt qui dépend entièrement du bras du robot de IndependenceRobotics.



**Figure 4: Doigt jouant une note de piano**

- **Test de Communication - Compatibilité des Pièces**

Nous avons utilisé un assemblage virtuel du prototype (au complet) sur SolidWorks, pour effectuer le test de compatibilité en tenant compte des différentes dimensions et des mécanismes de

fixation des composants. Une attention particulière a été portée à la manière dont chaque pièce s'intègre dans le système, en particulier la fixation du doigt au servomoteur.

- **Test d'Apprentissage - Capacité du Doigt à Appuyer sur les Touches**

Le test d'apprentissage visait à vérifier la capacité du doigt à appuyer sur les touches du piano de manière efficace. Pour tester cette hypothèse, un prototype physique ciblé a été créé en imprimant les parties nécessaires à l'action d'un seul doigt (figure 1). Pour permettre l'activation du mouvement via un servomoteur contrôlé par une carte Arduino (figure 2).

Une fois assemblé, le doigt a été testé pour vérifier si le mouvement permettait de faire descendre la touche du piano à un niveau de descente raisonnable.

### 2.1.1.3 Résultats des tests

**Tableau 3: Résultats des tests**

Objectif	Critères d'évaluation	Niveau de fidélité	Type de prototype	Métrique	Description du test	Résultats
Communication	Compatibilité des pièces	Moyenne	Analytique	Oui	Faire un assemblage du système entier pour vérifier l'ensemble, assurer la comptabilité	Satisfait
Apprentissage	Capacité du doigt à appuyer sur les touches	Moyenne	Physique ciblé	$\geq 3\text{mm}$	Évaluer la capacité du doigt bougeant grâce au moteur de faire descendre la touche du piano	Satisfait

Le prototype numérique a permis de valider la compatibilité de certaines pièces, et le prototype physique ciblé a confirmé que le doigt robotique pouvait appuyer sur les touches du piano de manière efficace. Cependant un redimensionnement du boîtier supérieur de la griffe est nécessaire.

## 2.1.2 Prototype Électrique

### 2.1.2.1 Hypothèses Critiques

L'une des hypothèse/inquiétudes que l'on considère le plus important concernant la conception électrique était l'alimentation aux servomoteurs. Nous menions donc ce prototype pour l'apprentissage. C'est à dire nous voulons évaluer la performance du prototype afin de diminuer les risques en poursuivant le processus de conception spécialement lors de développement de futur prototype. Nous voulons évaluer et valider la performance d'un seul servomoteur face à l'alimentation de 5 V fournit par le Arduino Uno.

Nous voulons ainsi vérifier si cette alimentation était suffisante afin que les servomoteur génère un minimum requis de puissance afin d'appuyer sur les touches du piano. Nous allons aussi prendre avantage de ce teste afin de calculer la vitesse d'oscillation (c'est à dire va-et-vient) d'un système d'un doigt afin d'incorporer cette métrique au future. De plus, nous allons poser un prototype supplémentaire spécifique à l'alimentation des servomoteur sans l'implémentation du prototype physique mécanique c'est à dire le doigt.

Nous posons ce prototype et test supplémentaire afin de vérifier combien de puissance est nécessaire afin d'alimenter 4 servomoteur simultanément. Nous allons aussi vérifier le système logique du prototype et vérifier si le systèmes logiciel/électrique permet le contrôle de chaque note. Ce prototype et ces tests vont se rapporter au CPX définie précédemment au livrable B spécialement pour la fiabilité. Nous voulons que la solution finale de notre produit assure une fiabilité élevée pour un certain client. Ce prototype nous permettra d'assurer que le l'alimentation est suffisante pour le fonctionnement d'un doigt ce qui portera sur la l'alimentation final du produit, une composante cruciale d'un produit fiable. De plus, nous désignons ce prototype et test pour la sécurité. En observant le comportement général du prototype, nous pouvons évaluez et observer toute défaillances de système électrique tel que le surchauffement et les décharges électrique pour assurer un niveau de sécurité de base nous permettant de vérifier ce sous-système.

**Tableau 4: Prototypes électriques**

Objectif de prototype	Critère d'évaluation	Niveau de fidélité	Type de prototype	Métrique/ CPX	Description du test
Apprentissage	Capacité de l'alimentation à générer suffisamment de puissance pour jouer une note	Haute	Physique	Fiabilité	Observation visuel et analyse du système général. Évaluer la capacité de l'alimentation au servomoteur à générer suffisamment de puissance pour appuyer sur une touche.

Communication	Vitesse d'oscillation	Moyenne	Physique	Vitesse de réaction	Documentation de la vitesse moyenne d'oscillation (mouvement va-et-vient du doigt) par rapport à une longue période de temps.
Apprentissage	Contrôle des 4 moteurs simultanément	Hautes	Physique	Temps de réponse des moteurs (ms)	Envoie de chaque lettre correspondante à chaque servo moteur pour jouer une note spécifique. Aussi la possibilité de tourner plusieurs servo moteurs à la fois en envoyant multiples commandes qui permettra de jouer plusieurs notes tel que désiré.

### 2.1.2.2 Documentation du prototype

Pour le prototype électrique, nous avons intégré plusieurs éléments essentiels pour tester les performances des servomoteurs, l'alimentation, et la gestion des mouvements dans un système contrôlé par la carte Arduino. Le prototype visait à vérifier les hypothèses ci-dessus formulées. Dans ce prototype, la carte Arduino représente le cœur du système en ce sens qu'il est utilisé pour commander les servomoteurs. Elle envoie les signaux nécessaires à l'activation des moteurs. Grâce à son IDE, elle sert également de plateforme pour exécuter le programme et traiter les commandes envoyées par l'utilisateur. Nous avons choisi les servomoteurs SG90 pour leur légèreté et leur capacité à effectuer des mouvements suffisamment puissants et précis pour stimuler les doigts et appuyer sur les touches du piano. En ce qui concerne l'alimentation, l'Arduino fournit une alimentation de 5V garantissant le fonctionnement des servomoteurs. Cependant, pour garantir un fonctionnement optimal, une alimentation externe pourrait être utilisée.

Le prototype a été monté en connectant 3 servomoteurs à la carte Arduino. Chaque servomoteur est relié à l'Arduino via des câbles appropriés. Une alimentation externe a été prévue pour s'assurer que les servomoteurs reçoivent la tension et le courant nécessaire pour un fonctionnement optimal, surtout lorsqu'ils sont utilisés simultanément. Une fois le circuit électrique monté, nous avons implémenté un code via l'interface IDE de l'Arduino pour générer des mouvements des servomoteurs. Une fois le code téléchargé dans la carte Arduino, nous avons ainsi procédé à la phase des tests afin de vérifier nos hypothèses. La figure 5 ci-dessous donne un aperçu du montage électrique qui a été réalisé pour notre prototype. Les résultats des tests effectués sont présentés dans la partie ci-dessous.

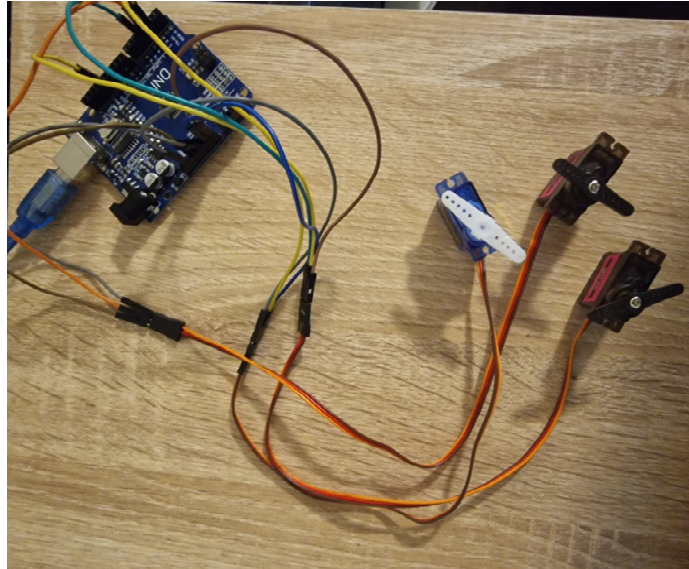


Figure 5 Prototype physique électrique - 3 servomoteurs

### 2.1.2.3 Résultats des tests

#### **Test d'apprentissage - Capacité à l'alimentation de générer suffisamment de puissance pour un doigt.**

Avec nos observations lors des tests concernant le prototype d'un doigt, nous avons pu vérifier qu'effectivement, l'alimentation de base de 5 V de l'Arduino fournit assez de puissance pour alimenter un doigt. Ces résultats ne sont pas surprenants mais nous tenions à vérifier ceci afin d'assurer un produit final le plus fiable possible.

#### **Test de communication – Temps d'oscillation**

Ce test de communication était posé afin de calculer le test d'oscillation, c'est à dire le va et vient du système d'un doigt pour ensuite intégrer cette limite pour l'implémentation logiciel plus tard. Nous avons posé ce teste avec le prototype physique d'un doigt car celle-ci est représentatif d'un prototype final visé. Nous avons ensuite calculé le temps nécessaire pour le système d'un doigt a performer une oscillation avec plusieurs essaies pour renvoyer des données fiables et représentatives.

#### **Test d'apprentissage - Contrôle des quatre moteurs simultanément**

Le teste d'apprentissage du contrôle des quatre moteurs visait à vérifier le contrôle du système et l'alimentation. Pour tester ces hypothèses, nous menons des tests dépendants. C'est à dire nous avons ajouté un servomoteur à la fois et vérifier si l'alimentation est suffisante pour ensuite poser les tests de contrôle.

Nous avons essayé plusieurs servomoteurs, deux d'entre eux ne fonctionnaient pas, mais les autres s'actionnaient au premier essai. Après avoir vérifié les servomoteurs, nous avons liés deux moteurs à l'Arduino avant d'y connecté deux autres servos additionnels avec une alimentation supplémentaire pour assurer de bien les alimenter, tout fonctionnait comme prévu. Nous avons ensuite implémenté un code pour faire fonctionner chaque servomoteur dépendant de la note

entrante – par exemple : servo moteur 1 fonctionne quand on tape sur la touche ‘a’, servo 2 fonctionne quand on tape sur la touche ‘b’ et ainsi de suite. Nous avons découvert que l’un des servomoteurs utilisés était défaillant et compromettait le fonctionnement des autres. Lors de la sélection de la touche ‘b’, normalement les moteurs devaient tourner pendant une période de temps cependant, ce servo ne s’arrêtait pas donc, on a dû l’enlever et travailler juste avec trois servomoteurs qu’on avait pour ce moment et tout marchait parfaitement à la fin.

**Tableau 4: Résultats des tests**

Objectif	Critères d'évaluation	Niveau de fidélité	Type de prototype	Métrique	Description du teste	Résultats
Apprentissage	Capacité de l'alimentation à générer suffisamment de puissance pour jouer une note	Haute	Physique	Oui	Observation visuel et analyse du système général. Évaluer la capacité de l'alimentation au servomoteur à générer suffisamment de puissance pour appuyer sur une touche.	Satisfait
Communication	Vitesse d'oscillation	Moyenne	Physique	0.8 secondes	Documentation de la vitesse moyenne d'oscillation (mouvement va-et-vient du doigt) par rapport à une longue période de temps.	Satisfait
Apprentissage	Contrôle des quatre moteur simultanément	Haute	Physique		Envoie de chaque lettre correspondante à chaque servo moteur pour jouer une note spécifique. Aussi la possibilité de tourner plusieurs servo moteurs à la fois en envoyant multiples commandes qui permettra de jouer plusieurs notes tel que désiré.	Satisfait

## **2.2 Présentation sur le progrès du projet**

Le lien pour la présentation est le suivant :

[GNG 2501 - Présentation de Progrès](#)



2.3 Plan de projet

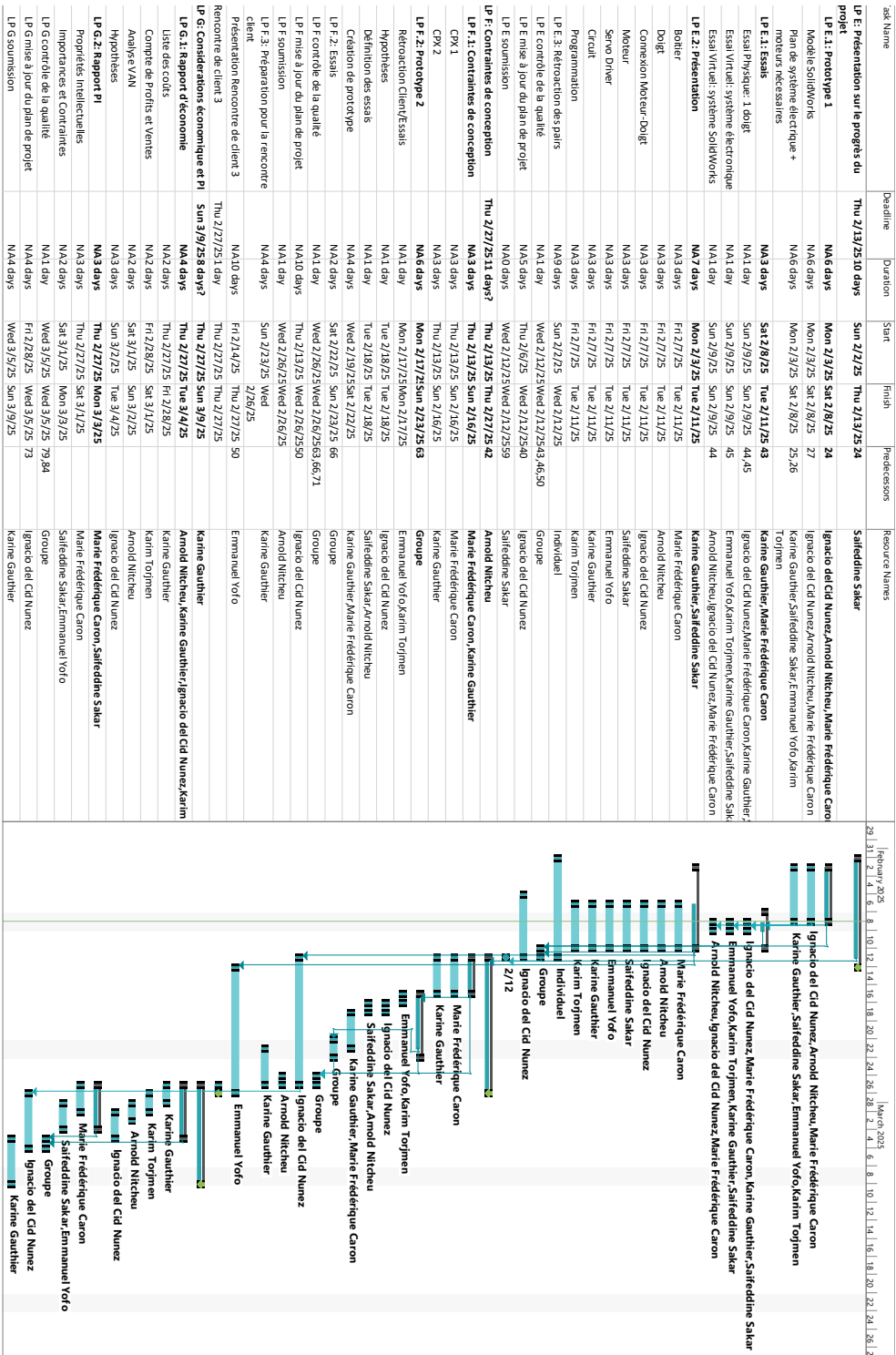


Figure 6: Capture d'écran du diagramme Gantt pour les livrables E, F et G

## **3 Contraintes de conception et prototype 2**

### **3.1 Contraintes de conception**

Les deux contraintes de conceptions que nous plaçons au centre de notre conception sont l'accessibilité ainsi que la fiabilité. Comme discuter précédemment, concevoir pour l'accessibilité est très important pour nous. C'est à dire, nous voulons assurer une utilisation convenant aux utilisateurs à fonction réduite et particulièrement, aux utilisateurs ayant perdu l'utilisation de leur bras. Afin de satisfaire cette contrainte, nous avons posé des itérations lors de la conception du prototype 2 pour rendre l'interactivité de l'interface de l'application pour accessible. Pour se faire, nous avons donné des dimensions plus grandes et plus espacer pour chacune des touches du piano sur l'interface de l'application. Cette itération permet un contact avec plus de précision à l'utilisateur ce qui donne moins de place à l'erreur lors de la sélection d'une touche. Cependant, nous voulons poser plus d'itération à notre prototype présent afin de le rendre le plus accessible possible. Par exemple, nous tenons à modifier la configuration logicielle du prototype afin qu'il soit compatible à plusieurs appareil intelligent. Présentement, l'application ne convient qu'aux téléphone intelligent Apple, ce qui limite l'accès à l'application. Lors du prototype à venir, nous voulons modifier la configuration afin qu'elle soit compatible avec les tablettes intelligente Apple (iPad) car cet appareil contient une aire d'interface plus grande ce qui pourrais augmenter l'accessibilité du produit.

Du côté de la fiabilité, tenant en compte la clientèle de IndependenceRobotics, il est primordial que le produit garantisse une fonctionnalité fiable et efficace. En effet, notre produit cherche à offrir aux individus à mobilité réduite une expérience leur accordant l'habileté de s'exprimer musicalement de manière créative et indépendante. La condition d'indépendance confirme que notre produit doit être fiable, et doit pouvoir exécuter la fonction souhaitée systématiquement, sans que l'utilisateur doivent solliciter de l'aide externe pour que les notes soient jouées sur le piano. Pour ce, nous allons de l'avant avec notre prototype 2 en raffinant nos sous-systèmes et leur fonctionnement. Bien que notre premier prototype a confirmé l'efficacité d'un seul doigt de notre griffe, il est maintenant le temps de tester sa fiabilité à une plus grande échelle, donc avec plus de notes du piano. Nous procédons de manière itérative, développant plusieurs concepts pour tester la fiabilité de chacun et finalement choisir l'option la plus conforme. Pour choisir l'option la plus conforme, nous allons tester chaque itération pratiquement à l'aide d'un piano et observer les résultats écheants. La condition principale mesurée sera la capacité du prototype de jouer une ou plusieurs notes (dépendant du test) avec certitude.

## 3.2 Prototype 2

### 3.2.1 Analyse des rétroactions

Suite aux essais du prototype 1 de RythmClaw, nous avons reçu une variété de rétroactions, incluant une rencontre supplémentaire brève avec le client, la revue de conception en cours et la présentation de progrès. Durant ceux-ci, nous avons reçu une appréciation globale positive du concept et de son exécution initiale. Cependant, certaines améliorations ont été identifiées pour renforcer l'expérience utilisateur et optimiser les performances du système. Énumérons les principaux retours et points d'amélioration.

Tout premièrement, l'extension du contrôle à quatre doigts. Actuellement, le prototype ne permet qu'une interaction avec un seul doigt. Afin d'offrir une expérience plus immersive et réactive, nous allons adapter le système pour qu'il reconnaisse et réagisse aux actions de quatre doigts simultanément.

Ensuite, l'ajout d'un servodriver pour la synchronisation des servomoteurs. Le prototype actuel ne dispose pas d'un contrôleur centralisé pour gérer plusieurs servomoteurs. L'ajout d'un servodriver permettra une synchronisation précise des quatre servomoteurs, garantissant ainsi une réponse fluide et coordonnée aux entrées du joueur.

Puis, l'amélioration de la disposition de l'application mobile. L'interface utilisateur de l'application mobile doit être optimisée pour améliorer la lisibilité, l'ergonomie et l'intuitivité du jeu. Une refonte du design et de la disposition des éléments interactifs sera réalisée pour améliorer l'expérience globale.

D'où, une mise à jour du concept détaillé est nécessaire. En intégrant ces améliorations, RythmClaw passera d'un prototype limité à un système plus abouti et prêt pour des tests plus poussés. Les axes de développement incluront :

- Refonte de l'algorithme de détection des entrées pour gérer plusieurs doigts.
- Intégration et test du servodriver pour assurer une synchronisation optimale.
- Conception de l'interface mobile, en prenant en compte les retours utilisateurs.

Ces améliorations permettront d'offrir une expérience plus dynamique, intuitive et fluide, répondant ainsi aux attentes du client.

### 3.2.2 Prototype Mécanique

#### 3.2.2.1 Hypothèses Critiques

Suite à la présentation en cours et aux rétroactions reçues, nous avons défini nos prochaines hypothèses critiques. Suivant le CPX de fiabilité il est nécessaire d'assurer la fonctionnalité de notre doigt. Pour ce nous devons vérifier que plusieurs doigts peuvent jouer simultanément, ainsi qu'explorer des idées pour garantir que chaque doigt peut jouer deux notes, pour assurer que notre griffe peut traiter de 8 notes au total. De plus, il est nécessaire que la griffe puisse jouer des notes différentes à une vitesse appropriée afin de ne pas perdre la mélodie de la pièce. Du côté du CPX de l'assemblage, nous devons vérifier que toutes les sections du boîtier sont compatibles l'une avec l'autre et permette un assemblage fiable et simple.

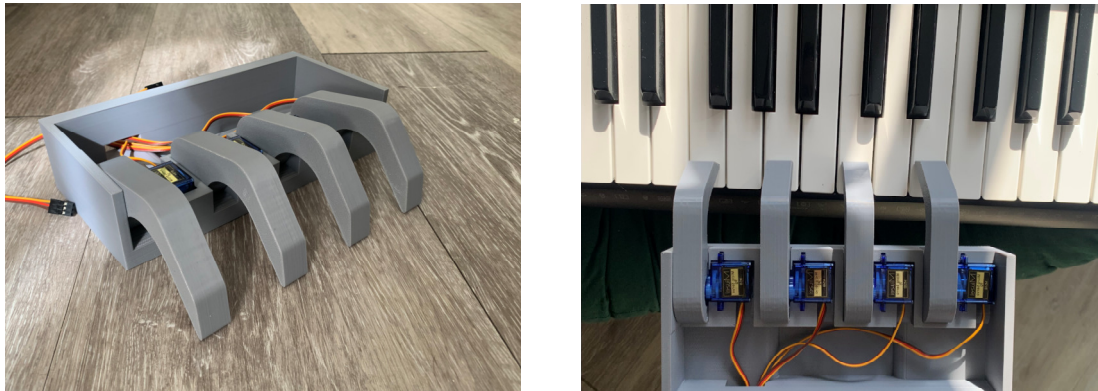
#### 3.2.2.2 Tests effectués

Tableau 5: Test effectués du prototype mécanique

Objectif du prototype	Critère d'évaluation	Niveau de fidélité	Type de prototype	Métrique	Description du test et méthode
Apprentissage	Compatibilité des doigts et du boîtier du bas (concept original)	Moyenne	Physique	Compatibilité	Faire l'impression du boîtier du bas ainsi que 4 doigts pour vérifier la capacité du boîtier bas à tenir les quatre doigts et les moteurs.
Apprentissage	Compatibilité du boîtier du haut et du bas (concept original)	Moyenne	Physique	Compatibilité	Faire l'impression du boîtier du bas ainsi que de boîtier du haut pour confirmer que l'assemblage du boîtier haut et boîtier bas est possible avec le concept original
Apprentissage	Capacité du doigt double à jouer deux notes (concept 2)	Moyenne	Physique	Niveau de descente de la touche de piano ( $\Delta h$ en mm) et angle de rotation	Imprimer une portion du boîtier du bas, ainsi qu'un doigt, le connecter au moteur et une carte Arduino avec le code approprié. Évaluer la capacité du doigt bougeant grâce au moteur de faire descendre deux touches du piano.

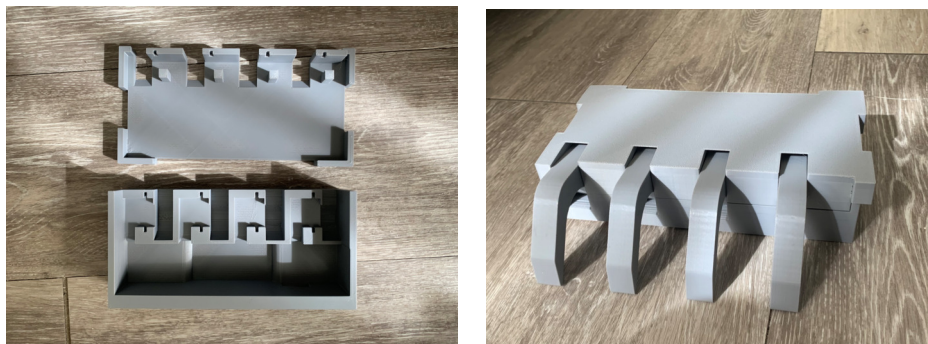
À travers plusieurs itérations d'impressions de différentes parties de la griffe modulaire, nous avons avancé l'évaluation des sous-systèmes que composent le projet.

En premier lieu, des impressions du boîtier et du doigt ont été complétées afin d'assurer le fonctionnement du mouvement haut et bas du doigt dans le boîtier. Suivant cette confirmation avec plusieurs essais, un boîtier avec espace pour deux doigts a été imprimé afin d'évaluer si la distance entre les doigts correspondait à la distance entre les notes de piano. Du côté mécanique, le deuxième prototype avait comme buts de confirmer que les quatre doigts pouvaient être mis dans un boîtier, la création du boîtier complet, et l'impression du poignet.



**Figure 7: Test 1 – compatibilité du boîtier bas et 4 doigts**

Après ceci, nous avons fait l'impression du boîtier du haut pour vérifier la compatibilité avec le boîtier du bas.



**Figure 8: Test 2 – comptabilité du boîtier haut et bas**

De plus, en parallèle à ces essais, nous développons un deuxième concept qui permettra de jouer 8 notes à la fois. Pour ceci, nous avons commencé par créer le concept en modèle 3D sur SolidWorks du doigt. L'impression d'un seul "doigt" a été fait et un essai a été fait avec le piano afin de confirmer la possibilité d'utiliser le nouveau concept. Les résultats ont été assez satisfaisant,

le doigt à pu faire descendre les deux touches. Cependant, la prochaine étape est de tester celui-ci avec le boîtier physique approprié.



**Figure 9: Test 3 – doigt 'double' alternatif**

Pour la suite, nous faisons des prototypes et essais très similaires aux essais faits pour le concept avec 4 doigts. Certaines composantes et résultats des essais faits pour le concept de 4 doigts pourrons être utilisées pour ce concept aussi qui sauvera du temps lors des essais faits. Par exemple, comme la distance entre les doigts a déjà été confirmée, ces essais ne devront pas être refait. Similairement, des essais liés à l'assemblage du boîtier, et à l'assemblage du poignet idéalement ne devront pas être refaits et permettront un développement plus rapide du projet.

### 3.2.2.3 Résultats

**Tableau 6: Résultats du prototype mécanique**

Objectif du prototype	Critère d'évaluation	Type de prototype	Spécification cible	Valeur souhaitée	Valeur obtenue	Satisfaction ?
Apprentissage	Compatibilité des doigts et du boîtier du bas (concept original)	Physique	Compatibilité	= oui	= oui	Oui
Apprentissage	Compatibilité du boîtier du haut et du bas (concept original)	Physique	Compatibilité	= oui	= oui	Oui
Apprentissage	Capacité du doigt double à jouer deux notes (concept 2)	Physique	Descente de la touche de piano	=>11.87m m	±12.5	Oui

### 3.2.3 Prototype Électrique

#### 3.2.3.1 Hypothèses

Suite au premier prototype, nous avons pu vérifier l'alimentation et la vitesse d'oscillation d'un doigt isolé. Avec ces métriques de vérifier, nous sommes prêts à poursuivre le processus de conception modèle itératif et augmenter le niveau de complexité au prototype en implémentant l'ajout des trois autres doigts. De même que pour le prototype d'un doigt, nous chercher à trouver l'alimentation nécessaire pour activer les quatre doigts et en particulier, vérifier si l'alimentation de 5V fournit par le Arduino est suffisante. De plus, nous voulons faire une analyse d'un contrôle des 4 moteur simultanément et recueillir l'angle à l'auquel le moteur doit être positionner en repos et pour appuyer sur la toucher. C'est testé seront poser pour l'apprentissage; en évaluant la performance du prototype et en diminuant les risques. Nous tenons aussi à itérer d'avantage notre prototype logiciel de l'interface de l'application afin d'apporter des modifications optimisant l'interaction pour l'utilisateur. Nous tenons à l'implémenter les dimensions plus grandes pour chaque touche pour rendre le prototype le plus accessible que possible. Ces prototypes se rapportent donc au CPX de fiabilité et d'accessibilité.

#### 3.2.3.2 Tests effectués

Tableau 7: Test effectués du prototype électrique

Objectif du Prototype	Critère d'évaluation	Niveau de fidélité	Type de prototype	Métrique/CP X	Description du test et méthode
Apprentissage	Capacité de l'alimentation à générer suffisamment de puissance au quatre doigts	Moyen	Physique	Alimentation	Observation visuel et analyse du système général. Évaluer la capacité de l'alimentation au servomoteur à générer suffisamment de puissance pour activer quatre moteurs.
Apprentissage	Contrôle des quatre moteurs et angle de repos/appuie	Haute	Physique	Connectivité avec le bras	Observation du comportement des quatre doigts connectés aux servomoteurs face au commande mis par le code du Arduino. Documentation des angles de repose et angle d'inclinaison (appuie) pour chaque Servomoteurs

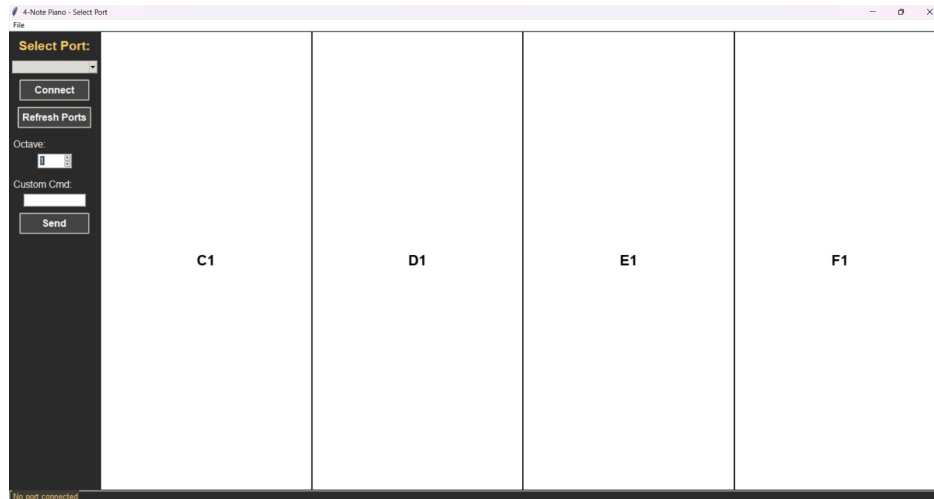
Communication	Prototype logiciel suivant un comportement désiré; permet de sélectionner une touche avec une interface tactile comportant les quatre touches en question	Moyen	Logiciel	Accessibilité	Observation générale du code sans retourner de message d'erreur
---------------	---	-------	----------	---------------	---

### 3.2.3.3 Documentation du prototype électrique

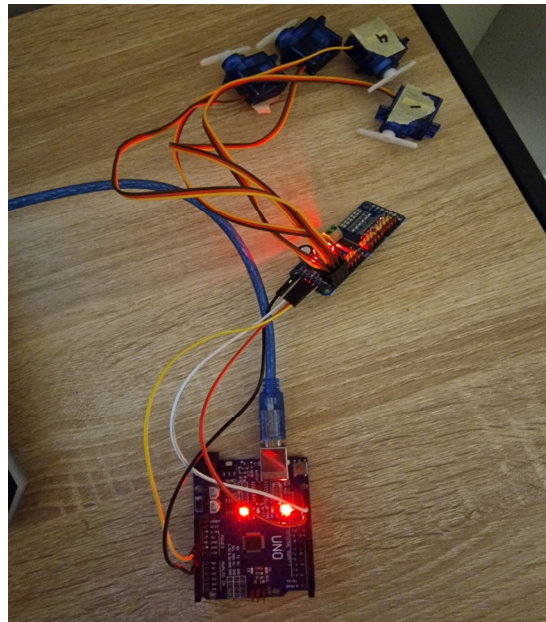
Afin de réaliser l'interface de l'application incluant les fenêtres, les boutons interactif, l'espace du manu principal déroulant etc., nous nous sommes servis de la bibliothèque pour interface standard de Python. Pour l'implémentation du style ainsi que les "widgets" avancés incluant les étiquettes, les boîtes de sélections et les "spinbox", nous avons utilisé le module complémentaire de Tkinter; tkinter.ttk. De plus, nous avons appliqué la bibliothèque PySerial pour ce qui concerne la gestion de la communication série; ouverture et fermeture, écriture et lecture du port COM. Finalement, nous avons employé le module de PySerial pour lister les ports série disponible par exemple "time" pour imposer une pause lors des connexions et assurer une petite latence avant d'utiliser le port en série.

Afin de convertir ce code en application, nous avons utilisé PySerial. Dès l'ouverture de l'application, l'interface d'affiche nous présente le module COM permettant de sélectionner le port de l'Arduino connecté. Une fois le port choisi, la connexion se fait automatiquement. Il suffit d'appuyer sur les touches et chaque moteur s'activera en conséquence. Une image contenant une aperçue de l'affichage graphique principal de l'interface de l'application suis.





**Figure 10: Interface principal de l'application**



**Figure 10: Prototype servo driver**

Ensuite, nous sommes passés à l'étape du servo driver. Ce prototype illustre l'utilisation du servo driver PCA9685 pour piloter plusieurs servomoteurs via une liaison I<sup>2</sup>C. À l'initialisation, le module Adafruit\_PWMServoDriver est configuré pour générer des impulsions à 50Hz, valeur généralement adaptée au servomoteurs analogiques. Les broches de sortie du PCA9685 remplacent ainsi la gestion classique par la bibliothèque Servo d'Arduino.

Lors de l'exécution, on lit les commandes reçues par le port série depuis l'application. Chaque commande déclenche une rotation temporaire du servomoteur correspondant, puis un retour

automatique à la position initiale après un délai spécifique. La plage d'impulsion dénote (SERVOMIN, SERVOMAX) a été ajustée pour s'adapter à chaque servo moteur.

Les angles de repos pour chaque Servomoteur sont comme suit ; (90°, 100°, 105°, 95°), et pour les angles d'inclinaison (60°, 70°, 75°, 70°).

### 3.2.4 Résultats

**Tableau 8: Résultats du prototype électrique**

Objectif du prototype	Critère d'évaluation	Type de prototype	Spécification cible	Valeur souhaitée	Valeur obtenue	Satisfaction?
Apprentissage	Capacité de l'alimentation à générer suffisamment de puissance au quatre doigts	Physique	Consommation d'énergie	4.8-7.3V	5V	Oui
Apprentissage	Contrôle des quatre moteurs et angle de repos/appuie	Physique	Connectivité avec le bras	Oui	Oui	Oui
Communication	Prototype logiciel suivant un comportement désiré; permet de sélectionner une touche avec une interphase tactile comportant les quatre touches en question	Logiciel	Interactivité avec une interphase	Oui	Oui	Oui

### 3.2.5 Préparation pour la rencontre client

Lors de notre troisième rencontre avec le client, notre équipe prévoit de présenter les progrès réalisés sur le prototype 2, en mettant en avant les améliorations apportées suite aux rétroactions du prototype 1. L'objectif de cet échange est de démontrer l'évolution du prototype,

d'obtenir des retours concrets sur les nouvelles fonctionnalités et de valider certaines hypothèses critiques avant la phase finale du développement.

### **3.2.5.1 Présentation du prototype**

#### Évolution du prototype Mécanique:

- Ajout des quatre doigts indépendants pour une interaction simultanée avec plusieurs touches du piano;
- Compatibilité entre les composants du boîtier du bas et celui du haut après impression et assemblage des pièces;
- Test de stabilité et fixation des doigts dans le boîtier;
- Exploitation de la possibilité d'un doigt double pour jouer deux notes à la fois en fonction du sens de rotation du moteur;

#### Améliorations électriques et logicielles:

- Intégration d'un servo driver pour synchroniser les quatre servomoteurs et assurer une réponse plus fluide;
- Optimisation de l'alimentation électrique pour garantir une fiabilité accrue lors de l'activation simultanée des moteurs;
- Amélioration de l'interface utilisateur de l'application pour une meilleure accessibilité;

#### Démonstration en direct:

- Présentation du prototype avec le boîtier complet, les quatre servomoteurs et le servo driver;
- Exécution des tests de fonctionnalités en actionnant plusieurs doigts pour jouer des notes de piano;
- Démonstration de réactivité et de fluidité des mouvements du prototype sur un clavier;

### **3.2.5.2 Informations à recueillir du client**

Dans le cadre du processus de l'amélioration continue de notre prototype, nous souhaitons obtenir des retours spécifiques du client concernant certains points. Pour y parvenir, quelques points ont été formulés et les réponses à ces questions constitueront une nouvelle base pour les prochaines étapes. Ces informations nous permettront de nous assurer que toutes les modifications sont bien alignées avec les besoins des utilisateurs finaux et que le produit satisfait aux exigences d'accessibilité et de fiabilité.

#### Ergonomie et expérience utilisateur:

- Intuitivité de la configuration actuelle de l'application pour l'utilisateur à mobilité réduite;
- Impact des ajustements apportés aux dimensions des touches virtuelles sur l'utilisation;
- Facilité de prise en main et fluidité du système.

#### Performance et fiabilité du prototype:

- Efficacité du fonctionnement des quatre doigts pour jouer une mélodie de façon fluide;
- Amélioration de la précision et de la réactivité avec l'utilisation du servodriver;
- Rapidité et stabilité du système par rapport aux attentes des utilisateurs.

#### Améliorations et prochaines étapes:

- Identification de fonctionnalités supplémentaires souhaités par le client;
- Ajustements nécessaires sur les paramètres mécaniques ou électriques pour optimiser le produit;
- Proposition des tests complémentaires permettant d'anticiper sur la version finale du prototype.

### 3.3 Plan de projet

ID	Task Name	Deadline	Duration	Start	Finish	Predecessors	Half 1 F M A M J	2025, Half 2 J A S O N D	2026 J
62	<b>LP F: Contraintes de conception</b>	<b>Thu 25-02-27</b>	<b>11 days?</b>	<b>Thu 25-02-13</b>	<b>Thu 25-02-27</b>	<b>42</b>			
63	<b>LP F.1: Contraintes de conception</b>	<b>NA3 days</b>		<b>Thu 25-02-13</b>	<b>Sun 25-02-16</b>				
64	CPX 1	NA3 days		Thu 25-02-13	Sun 25-02-16				
65	CPX 2	NA3 days		Thu 25-02-13	Sun 25-02-16				
66	<b>LP F.2: Prototype 2</b>	<b>NA6 days</b>		<b>Mon 25-02-15</b>	<b>Sun 25-02-23</b>	<b>63</b>			
67	Rétroaction Client/Essais	NA1 day		Mon 25-02-15	Mon 25-02-15				
68	Hypothèses	NA1 day		Tue 25-02-18	Tue 25-02-18				
69	Définition des essais	NA1 day		Tue 25-02-18	Tue 25-02-18				
70	Création de prototype	NA4 days		Wed 25-02-19	Sat 25-02-22				
71	LP F.2: Essais	NA3 days		Thu 25-02-20	Sun 25-02-23	66			
72	LP F contrôle de la qualité	NA1 day		Mon 25-02-20	Mon 25-02-20	63;66;71			
73	LP F mise à jour du plan de projet	NA10 days		Thu 25-02-13	Wed 25-02-25	70			
74	LP F soumission	NA1 day		Tue 25-02-25	Tue 25-02-25	72			
75	LP F.3: Préparation pour la rencontre client	NA4 days		Sun 25-02-23	Wed 25-02-26				
76	Présentation Rencontre de client 3	NA10 days		Fri 25-02-14	Thu 25-02-27	70			
77	Rencontre de client 3	Thu 25-03-06	1 day	Thu 25-02-27	Thu 25-02-27				
78	<b>LP G: Considerations économique et P</b>	<b>Sun 25-03-09</b>	<b>8 days?</b>	<b>Thu 25-02-27</b>	<b>Sun 25-03-09</b>				
79	<b>LP G.1: Rapport d'économie</b>	<b>NA4 days</b>		<b>Thu 25-02-27</b>	<b>Tue 25-03-04</b>				
80	Liste des coûts	NA2 days		Thu 25-02-27	Fri 25-02-28				
81	Compte de Profits et Ventes	NA2 days		Fri 25-02-28	Sat 25-03-01				
82	Analyse VAN	NA2 days		Sat 25-03-01	Sun 25-03-02				
83	Hypothèses	NA3 days		Sun 25-03-02	Tue 25-03-04				
84	<b>LP G.2: Rapport PI</b>	<b>NA3 days</b>		<b>Thu 25-02-27</b>	<b>Mon 25-03-04</b>				
85	Propriétés Intellectuelles	NA3 days		Thu 25-02-27	Sat 25-03-01				
86	Importances et Contraintes	NA2 days		Sat 25-03-01	Mon 25-03-04				
87	LP G contrôle de la qualité	NA1 day		Wed 25-03-07	Wed 25-03-07	84			
88	LP G mise à jour du plan de projet	NA4 days		Fri 25-02-28	Wed 25-03-07				
89	LP G soumission	NA4 days		Wed 25-03-07	Sun 25-03-09				
90	<b>LP H: Journée du design</b>	<b>Thu 25-03-27</b>	<b>19 days</b>	<b>Mon 25-03-04</b>	<b>Thu 25-03-27</b>				
91	<b>Présentation de la journée du design</b>	<b>NA10 days</b>		<b>Mon 25-03-04</b>	<b>Fri 25-03-14</b>	<b>76</b>			
92	Slides journée de design	NA4 days		Mon 25-03-04	Thu 25-03-06				
93	Affiche journée de design	NA7 days		Sun 25-03-02	Mon 25-03-11				
94	Prototype final	NA17 days		Fri 25-02-28	Mon 25-03-26				
95	Résumé pour les juges	NA1 day		Wed 25-03-11	Wed 25-03-11				
96	LP H contrôle de la qualité	NA1 day		Tue 25-03-25	Tue 25-03-25	94;91			
97	Journée du design	Wed 25-03-25	1 day	Wed 25-03-25	Wed 25-03-25				

Figure 11: Capture d'écran du diagramme de Gantt pour les livrable F, G et H

## 4 Considérations économiques et propriétés intellectuelles

### 4.1 Rapport d'économie

#### 4.1.1 Coûts

Pour commencer, pour une seule unité d'un produit nous allons faire l'hypothèse que les coûts de production montent de 50% que le prototype final (~50\$) qui donnerait un coût de production d'environ 75\$. Ceci est justifié par une utilisation de composantes et de matériel de plus haute qualité. Une autre hypothèse faite est le niveau de production annuel qui peut être approximé à 2000 unités par année. De plus des achats de machines d'impression 3D seraient nécessaires qui seront approximé à 7500\$ (Professional 3d printer Cost [1]).

Avec une hypothèse d'environ 3 employés, avec des salaires de 60 000\$, (un peu plus haut que le « living wage » à Toronto [2]), le coût total relié au salaire serait d'environ 180 000\$.

La dernière hypothèse nécessaire pour la liste des coûts est que l'entreprise serait géré par la compagnie «parent», Independence Robotics qui serait en charge des frais de publicité/marketing.

**Tableau 9: Liste des coûts**

Coût des dépenses liées au projet		Type de coût de base	Direct ou Indirect	Fixe, Variable ou Semi-Variable	Commentaires
<b>30\$/Unité</b> <b>60 000\$</b>	Matériaux de production	Coût de matériel	Direct	Variable	Utilisant la quantité d'unités produits annuellement.
<b>180 000\$</b>	Salaires	Main d'œuvre	Direct/ Indirect	Fixe	Comme décrit, basé sur 3 employés à un salaire de 60 000\$ qui auraient des tâches variées qui ne seraient pas tous directement reliés à la production.
<b>6 000\$</b>	Frais d'électricité	Frais Généraux	Indirect	Semi-Variable	Comme l'entreprise ne consiste que de 3 employés, et seulement 4 imprimantes 3D, les frais d'électricité seront assez bas.
<b>1500\$/mois</b> <b>18 000\$</b>	Loyer	Frais Généraux	Indirect	Fixe	Comme décrit, l'espace est pour 3 employés et 4

					imprimantes, donc un espace gros n'est pas nécessaire
<b>0\$</b>	Marketing général	Frais Généraux	Direct	Fixe	Le marketing serait fait par le "parent company" (Independence Robotics) comme attache pour leur produit
<b>10 000\$</b>	Frais Généraux	Frais Généraux	Indirect	Variable	Les frais généraux s'appliquent à tous les autres coûts nécessaires pour le bon fonctionnement de l'entreprise.
<b>30 000\$</b>	Machines de fabrication	Frais Généraux	Direct	Fixe	Le coût de plusieurs imprimantes 3D est reliée directement à la production du produit
<b>6 000\$</b>	Dépréciation annuelle	Frais Généraux	Indirect	Fixe	Dépréciation est fixe et n'est pas directement reliée à la production du produit

En ce qui concerne les machines de fabrication, la dépréciation annuelle devrait être considéré et non le coût des machines lors de la détermination du prix qui est basé sur les coûts annuels. Ceci mène à un coût total de 280 000\$ ou 140\$/unité. Avec ce coût unitaire, nous pouvons mettre le prix à une valeur de 165\$/unité afin d'avoir un niveau de profit qui générerait 330 000\$/année.

#### 4.1.2 Profits de pertes

##### 4.1.2.1 Données de base:

i. Coût de production par unité :

Le coût de production par unité reste de 140 \$, mais nous prévoyons une légère réduction des coûts de production après la première année en raison de l'optimisation des processus (par exemple, meilleures pratiques de fabrication ou achats en gros de matières premières). Une réduction de 5 % du coût unitaire est envisagée pour les années suivantes.

ii. Augmentation des coûts de main-d'œuvre :

En raison de l'inflation et des ajustements salariaux, les salaires sont supposés augmenter de 3 % par an.

iii. Augmentation des frais généraux (électricité, marketing, loyer) :

- Électricité : une augmentation de 2 % par an est prévue, en raison de la hausse des tarifs énergétiques.
- Marketing : Le budget marketing augmente de 5 % par an pour soutenir l'expansion de l'entreprise et l'acquisition de nouveaux clients.
- Loyer : L'augmentation du loyer est de 3 % par an, ce qui correspond à une inflation modérée du marché immobilier.

iv. Machines et dépréciation :

Les machines d'impression 3D subissent un amortissement fixe de 6 000 \$ par an (la dépréciation des machines reste constante, car nous n'anticipons pas d'investissements dans de nouvelles machines durant les 3 premières années).

v. Augmentation des ventes :

Le nombre d'unités produites et vendues augmente de 5 % par an, ce qui entraînera un chiffre d'affaires plus élevé.

#### 4.1.2.2 Calculs Financiers

Tableau 10: Compte de profit et de perte de l'année 1

Compte de profit et de perte Année 1		
Termes	Opérations	Montants (\$)
<i>Ventes</i>	Nombre d'unités vendues: 2000 Prix de vente unitaire : 165 \$ Ventes = $2000 \times 165$	330,000 \$
<i>Coûts de production</i>	Nombre d'unités produites = 2000 Coût de production unitaire = 140 \$ Coûts = $2000 \times 140$	280,000 \$
<b>Profit brut</b>	<b>330,000 \$ – 280,000 \$</b>	<b>50,000 \$</b>
<i>Salaires</i>	180,000 \$	180,000 \$
<i>Electricité</i>	18,000 \$	18,000 \$
<i>Loyer</i>	18,000 \$	18,000 \$
<i>Marketing</i>	10,000 \$	10,000 \$
<i>Frais généraux</i>	30,000 \$	30,000 \$
<i>Dépréciation</i>	6,000 \$	6,000 \$
<i>Total des frais d'exploitation</i>	$180,000 + 18,000 + 18,000 + 10,000 + 30,000 + 6,000$	262,000 \$



<b>Profit d'exploitation</b>	<b>50,000 \$ - 262,000 \$</b>	<b>– 212,000 \$</b>
------------------------------	-------------------------------	---------------------

**Tableau 11: Compte de profit et de perte de l'année 2**

<b>Compte de profit et de perte Année 2</b>		
<b>Termes</b>	<b>Opérations</b>	<b>Montants (\$)</b>
<i>Ventes</i>	Nombre d'unités vendues: $2000 \times 1.05 = 2100$ Prix de vente unitaire : 165 \$ Ventes = $2100 \times 165$	346,500 \$
<i>Coûts de productin</i>	Nombre d'unités produites = <b>2100</b> Coût de production unitaire = $40 \times (1 - 0.05) = 133$ \$ Coûts = $2100 \times 133$ \$	279,300 \$
<b>Profit brut</b>	<b>346,500 \$ – 279,300 \$</b>	<b>67,200 \$</b>
<i>Salaires</i>	$180,000 \times (1 + 0.03) = 185,400$ \$	185,400\$
<i>Electricité</i>	$18,000 \times (1 + 0.02) = 18,360$ \$	18,360 \$
<i>Loyer</i>	$18,000 \times (1 + 0.03) = 18,540$ \$	18,540 \$
<i>Marketing</i>	$10,000 \times (1 + 0.05) = 10,500$ \$	10,500 \$
<i>Frais généraux</i>	$30,000 \times (1 + 0.05) = 31,500$ \$	31,500 \$
<i>Dépréciation</i>	6,000 \$	6,000 \$
<i>Total des frais d'exploitation</i>	$185,400 + 18,360 + 18,540 + 10,500 + 31,500 + 6,000 = 271,800$ \$	271,800 \$
<b>Profit d'exploitation</b>	<b>67,200 – 271,800 = –191,300 \$</b>	<b>–191,300 \$</b>

**Tableau 12: Compte de profit et de perte de l'année 3**

<b>Compte de profit et de perte Année 3</b>		
<b>Termes</b>	<b>Opérations</b>	<b>Montants (\$)</b>
<i>Ventes</i>	Nombre d'unités vendues: <b><math>2100 \times 1.05 = 2205</math></b> Prix de vente unitaire : 165 \$ Ventes = $2205 \times 165 = 364,725$ \$	364,725 \$
<i>Coûts de production</i>	Nombre d'unités produites = <b>2205</b> Coût de production unitaire = $133 \times (1 - 0.05) = 126.35$ \$ Coûts = $2205 \times 126.35 = 278,299.75$ \$	278,299.75 \$
<b>Profit brut</b>	<b><math>364,725 - 278,299.75 = 86,425.25</math> \$</b>	<b>86,425.25 \$</b>
<i>Salaires</i>	$185,400 \times (1 + 0.03) = 190,962$ \$	190,962 \$
<i>Electricité</i>	$18,360 \times (1 + 0.02) = 18,727$ \$	18,727 \$

<i>Loyer</i>	$18,540 \times (1+0.03) = 19,096 \$$	19,096 \$
<i>Marketing</i>	$10,500 \times (1+0.05) = 11,025 \$$	11,025 \$
<i>Frais généraux</i>	$31,500 \times (1+0.05) = 33,075 \$$	33,075 \$
<i>Dépréciation</i>	6,000 \$	6,000 \$
<i>Total des frais d'exploitation</i>	$190,962 + 18,727 + 19,096 + 11,025 + 33,075 + 6,000 = 278,885 \$$	278,885 \$
<b>Profit d'exploitation</b>	<b><math>86,425.25 - 278,885 = -167,860 \\$</math></b>	<b>-167,860 \$</b>

**Tableau 13: Résumé des Résultats Financiers**

<b>Année</b>	<b>Chiffre d'Affaires (CA)</b>	<b>Coût des Produits Vendus (CPV)</b>	<b>Profit Brut</b>	<b>Total des Frais</b>	<b>Profit d'Exploitation</b>
<b>Année 1</b>	330,000 \$	280,000 \$	50,000 \$	262,000 \$	-212,000 \$
<b>Année 2</b>	346,500 \$	279,300 \$	67,200 \$	271,800 \$	-191,300 \$
<b>Année 3</b>	364,725 \$	278,299.75 \$	86,425.25 \$	278,885 \$	-167,860 \$

Ces calculs montrent comment les différents coûts et revenus évoluent au cours des 3 ans. L'entreprise voit une amélioration de son profit brut sur trois ans, mais reste dans une situation déficitaire en raison de coûts fixes élevés. Les marges bénéficiaires restent faibles, et l'entreprise devra prendre des mesures pour augmenter la production, réduire les coûts ou ajuster les prix de vente afin d'atteindre la rentabilité sur le moyen terme.

#### **4.1.3 Analyse VAN**

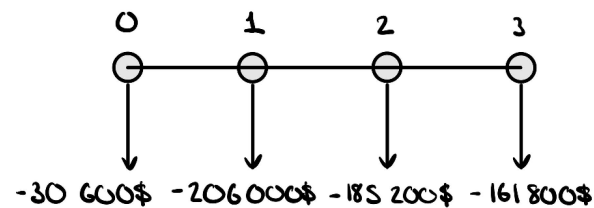
##### **1. Calcul des flux:**

Le flux est calculé comme ceci :  $FCF = \text{Profit d'exploitation} + \text{Amortissement}$

**Tableau 14: Flux des profits**

<b>Année</b>	<b>Profit exploitation</b>	<b>Amortissement</b>	<b>FCFI</b>
0	-30 000\$	Aucune autre entrée ni sortie d'exploitation avant le démarrage.	Rien

1	-212 000 \$	6000\$	-212 000\$ + 6000\$ = -206 000\$
2	-191 300 \$	6000\$	<b>-185 300 \$</b>
3	-167 860 \$	6000\$	<b>-161 860 \$</b>



**Figure 12: Analyse VAN**

## 2. Actualisation

Pour l'actualisation de flux on utilise :  $\frac{FCF}{(1+i)^t}$

Année	Actualisation
0	= investissement initial = -30 000 \$
1	$= \frac{-206\,000}{1.1} = -187\,272.73$ \$
2	-153 719.01 \$
3	-121 528.93 \$

VAN : = somme des années = -492 520.97 \$

Puisque la VAN est négative ceci implique que durant 3 ans avec un taux de 10%, le projet perd de la valeur dans un point de vue financier. Pour avoir une meilleure VAN il faut réduire les coûts unitaires, coûts fixes, augmenter les prix de vente, prolonger la période d'analyse...

### 4.1.4 Hypothèses Critiques

#### 1. Volume de production et de ventes

- **Hypothèse** : 2 000 unités vendues la première année, avec une croissance de 5 % par an.

- **Pourquoi critique :** Si le volume effectif de ventes est inférieur (ou si la croissance de 5 % ne se réalise pas), le chiffre d'affaires global diminue rapidement, ce qui aggrave les pertes et retarde encore plus l'atteinte de la rentabilité.

## 2. Prix de vente unitaire

- **Hypothèse :** 165 \$ par unité, maintenu constant sur 3 ans.
- **Pourquoi critique :** Tout ajustement à la baisse (pour être plus compétitif) réduit la marge bénéficiaire. À l'inverse, une hausse de prix peut améliorer la marge mais risque de faire baisser la demande. Trouver le bon équilibre prix/demande est donc essentiel.

## 3. Coûts de production par unité

- **Hypothèse :** 140 \$ la première année, puis une réduction de 5 % chaque année dû à une optimisation de la fabrication ou achats en gros.
- **Pourquoi critique :** Ces coûts représentent la majeure partie des dépenses. Un défaut d'optimisation ou une hausse imprévue des prix des matières premières (au lieu de la baisse escomptée) peut annuler la faible marge déjà attendue et amplifier les pertes.

## 4. Croissance des coûts fixes (salaires, loyer, électricité, etc.)

- **Salaires :** Augmentation de 3 % par an.
- **Électricité :** Augmentation de 2 % par an.
- **Loyer :** Augmentation de 3 % par an.
- **Marketing :** Augmentation de 5 % par an.
- **Pourquoi critique :** Les coûts fixes sont élevés et pèsent lourdement sur la rentabilité. Si ces augmentations dépassent les prévisions (inflation plus forte, par exemple), les pertes se creusent.

## 5. Dépendance à la “parent company” pour le marketing

- **Hypothèse :** Le coût marketing interne est de 0 \$ la première année (pris en charge par la maison-mère), puis +5 % chaque année à partir de 10 000 \$ (valeur de référence pour les calculs).
- **Pourquoi critique :** Toute modification du soutien marketing de la société mère (ou si, par exemple, la société mère décide de facturer) augmenterait considérablement les charges.

## 6. Investissement initial dans les machines (et leur amortissement)

- **Hypothèse :** Un coût d'investissement en imprimantes 3D de 30 000 \$, avec une dépréciation fixe annuelle de 6 000 \$.

- **Pourquoi critique :** Si, pour suivre la croissance des ventes ou pour améliorer la qualité, l'entreprise doit investir plus tôt que prévu dans de nouvelles machines (ou si les pannes sont plus fréquentes), les coûts d'amortissement réels dépasseront 6 000 \$ par an.

## 7. Structure salariale et nombre d'employés

- **Hypothèse :** 3 employés à 60 000 \$ chacun, avec 3 % d'augmentation annuelle.
- **Pourquoi critique :** Si plus de personnel est nécessaire (par exemple pour gérer la production, la logistique, le SAV, etc.), ou si les salaires doivent être plus élevés pour attirer/retenir des compétences, les coûts fixes augmenteront considérablement.

## 8. Économies d'échelle

- **Hypothèse:** Le passage de 2 000 à 2 100 puis à 2 205 unités par an est réalisable sans hausse considérable des coûts variables ou besoin d'investissements supplémentaires.
- **Pourquoi critique :** Si, en réalité, la production d'un plus grand nombre d'unités requiert un surcoût (main-d'œuvre, maintenance, approvisionnement), l'effet d'économies d'échelle attendu ne sera pas au rendez-vous.

## 4.2 Importance des propriétés intellectuelles

### 4.2.1 Introduction aux Propriétés Intellectuelles

Dans un contexte où l'innovation et la compétitivité sont au cœur du développement économique, la protection des idées et des créations devient une nécessité stratégique pour les entreprises et les inventeurs. Les propriétés intellectuelles regroupent un ensemble de droits permettant de protéger les inventions, les marques, les œuvres littéraires et artistiques, ainsi que d'autres créations immatérielles. Elles garantissent aux créateurs un monopole d'exploitation temporaire et leur confèrent des avantages concurrentiels significatifs.

Les principaux types de protection intellectuelle incluent les brevets, qui assurent un droit exclusif sur une invention pour une durée limitée, et les marques de commerce, qui permettent d'identifier et de distinguer les produits ou services d'une entreprise. Ces mécanismes jouent un rôle clé dans la valorisation des actifs immatériels, la sécurisation des investissements en recherche et développement, et la protection contre la contrefaçon ou l'utilisation frauduleuse par des tiers.

Toutefois, l'acquisition et le maintien des droits de propriété intellectuelle impliquent certaines contraintes juridiques et financières, notamment des coûts d'enregistrement, des procédures administratives complexes et des exigences en matière de défense des droits. Il est donc essentiel d'adopter une approche stratégique pour optimiser la gestion des actifs intellectuels et maximiser leur impact sur le succès commercial et l'innovation.

Ainsi, dans cette section, nous explorerons l'importance des propriétés intellectuelles, en mettant en lumière les avantages et les défis liés à leur mise en place, afin d'illustrer leur rôle fondamental dans le développement et la pérennité des projets innovants.

#### **4.2.2 Marques de commerce**

Les marques de commerces sont essentielles pour l'identification et la protection d'une entreprise. Elle personnalise l'entreprise et permet aux consommateurs d'associer un nom, un logo et parfois même un slogan permet aux entreprises et de se différencier de leur compétiteur. Cependant, certaines contraintes juridiques sont imposées afin de protéger les entreprises existantes.

##### **Importance de marques de commerce;**

- Protection de l'identification de produit; En ayant un nom spécifique et unique enregistré à notre produit; ceci assure qu'aucune autre entreprise est permise de s'approprié le même. Ceci est particulièrement important pour notre entreprise en étant dans secteur industrielle très spécifique (Robotique musical) ceci réduit la place à la créativité surtout lors de la création de nom.
- Renforcer la reconnaissance de notre produit ; Un nom d'entreprise clair et distinctif facilite la communication et la promotion de l'entreprise par rapport aux clients et utilisateurs cibles. Ceci encourage aussi la mémorisation et la recommandation de notre produit entre les clients et l'utilisateur potentiel. Il permet aussi d'éviter la confusion en ayant une marque déposée ; ceci au concourant de d'utiliser un nom similaire et profitez de notre travail où même générer une confusion pour des clients ou utilisateurs potentiel.
- Protection juridique et sécurité financier ; En absence de protection de marques, une compagnie est vulnérable à plusieurs risques. Par exemple, un compétiteur peut voler le nom et profiter de la visibilité de l'entreprise pour promouvoir et vendre un produit similaire. Un autre risque concerne l'accusation d'infraction d'une compagnie ayant un nom trop similaire au sien impliquant des amandes et devoir reconsidérer un autre nom d'entreprise. Une autre considération serais pour la vente de l'entreprise, l'absence de marque fait en sorte que la valeur de l'entreprise diminue car elle n'est pas protégée.

##### **Contraintes juridique:**

- Vérification des noms à la disposition; Il est très important de vérifier les noms disponibles et s'assurer qu'un certain nom n'existe pas déjà dans l'industrie spécifique de l'entreprise avant d'enregistrer la marque. L'existence d'un nom similaire augmente les risques de litige et impose un changement de nom de l'entreprise ou du produit suite à son lancement.

- Enregistrement et Coûts ; L'enregistrement d'une marque auprès l'OPIC (Office de la propriété intellectuelle du Canada) à un coût et un délai de temps associer. Il est aussi importance de proprement définir la catégorie de produit et l'industrie de la marque, dans notre cas ; Robotique, musical, médical, logiciel.
- Protection et défense de la marques; Une fois la marque déposée; on se doit de la protéger contre toute utilisation frauduleuse par d'autre entreprise. Ceci implique l'engagement de poursuivre et d'entreprendre les démarches légales nécessaire pour la défense de notre marque face à des concurrent ayant créé un produit similaire avec un nom similaire.

#### **4.2.3 Brevets**

Un brevet est, d'après le gouvernement du Canada : “Une forme de propriété intellectuelle accordé par un gouvernement qui confirme le droit exclusif à une invention pour une période pouvant aller jusqu'à 20 ans” [3], avec la condition que l'invention soit nouvelle, utile et inventive. Un droit exclusif signifie que la personne tenant le brevet a le droit d'interdire la fabrication, l'utilisation et la vente de l'invention. Tenant en compte du fait que nous travaillons sous une compagnie mère (Independence Robotics) et que nous avons signé un accord de non-divulgaration détaillant nos droits par rapport aux brevets, nous sommes dans une situation singulière. Notre accord exprime la compagnie est exclusivement propriétaire de toute idée (brevetable ou non) que nous aurons conçue pendant la durée de notre engagement. Donc, Independence Robotics retient la propriété de tout brevet que nous poserions.

##### **Importance des brevets;**

- Tout d'abord, comme les marques de commerce et les autres propriétés intellectuelles, l'idée des brevets est de protéger l'invention. Avoir le droit exclusif de l'idée nous permettrait de contrôler la conception et la production de la griffe à toute échelle. Et éviter par exemple une production de notre griffe par production immorale ou dangereuse.
- Ceci introduit le prochain point de contrôle du marché. Un brevet nous permettrait le monopole de la vente de notre invention pour la durée décidée, nous plaçant au-delà de la concurrence et seuls au centre d'un nouveau marché, un avantage indéniable. Pour le temps avant que le brevet expire, nous aurons le garantit d'aucune concurrence externe.
- Un brevet nous accorderait aussi une certaine protection juridique. Comme mentionné plus tôt, nous aurions le droit exclusif à la fabrication, l'utilisation et la vente de l'invention. Ceci signifie que nous serions capables de poursuivre en justice tout individu enfreignant ces droits.
- De plus, ça attirerait d'avantages d'attention et donc d'avantage d'investisseurs et de partenaires, intéressés à investir dans la compagnie, ce qui valorisera la réputation de l'entreprise ainsi que maximisera la collecte de fonds. Il est aussi possible que ces investisseurs veulent acheter l'entreprise.

### **Contraintes juridiques:**

- Le processus de demande de brevet se fait à travers l'OPIC (l'Office de propriété intellectuelle du Canada) qui réserve le droit d'approuver ou rejeter la demande. C'est pour cela qu'il est primordial avant de poser un brevet d'effectuer une recherche, voir si le projet en tête tombe déjà sous un brevet existant ou si l'idée elle-même existe déjà. Sinon, on risque que le brevet soit rejeté ou même d'être poursuivi pour violation d'un brevet préexistant.
- Juridiquement, les brevets ont des limites. En effet, ceux-ci ont une durée limitée, voulant dire qu'ils ne sont valides que de manière temporaire. Après ce nombre d'années atteint, l'invention tombe dans le domaine public et est donc libre d'utilisation par n'importe qui, sans conséquences. De plus, il est nécessaire de maintenir le brevet en payant des taxes annuelles. Autrement, il est important de noter que les brevets ne sont qu'admissibles pour le pays dans lesquels ils ont été accordés. Il n'existe pas de système de brevetage international.
- En cas de violation du brevet, en tant que titulaire, nous serions responsables de poursuivre juridiquement les individus concernés. Pour ce, il est possible d'exiger la cessation de l'infraction ainsi qu'une certaine somme de dommage devant un tribunal.
- Il est aussi possible que le brevet soit contesté en tant que 'non-valide' par un individu externe faisant demande d'annulation de celui-ci devant un tribunal.



## 4.3 Plan de projet

ID	Task Mode	Task Name	Deadline	Duration	Start	Finish	Predecessors	2024 H1	H2	2025 H1	H2	2026 H1	H2	2027 H1
78		LP G: Considerations économiques et P	Sun 25-03-098 days?		Thu 25-02-27	Sun 25-03-05								
79		LP G.1: Rapport d'économie		NA4 days	Thu 25-02-27	Tue 25-03-04								
80		Liste des coûts		NA2 days	Thu 25-02-27	Fri 25-02-28								
81		Compte de Profits et Ventes		NA2 days	Fri 25-02-28	Sat 25-03-01								
82		Analyse VAN		NA2 days	Sat 25-03-01	Sun 25-03-02								
83		Hypothèses		NA3 days	Sun 25-03-02	Tue 25-03-04								
84		LP G.2: Rapport PI		NA3 days	Thu 25-02-27	Mon 25-03-05								
85		Propriétés Intellectuelles		NA3 days	Thu 25-02-27	Sat 25-03-01								
86		Importances et Contraintes		NA2 days	Sat 25-03-01	Mon 25-03-05								
87		LP G contrôle de la qualité		NA1 day	Wed 25-03-04	Wed 25-03-07;84								
88		LP G mise à jour du plan de projet		NA4 days	Fri 25-02-28	Wed 25-03-07								
89		LP G soumission		NA4 days	Wed 25-03-05	Sun 25-03-05								
90		LP H: Journée du design	Thu 25-03-2719 days		Mon 25-03-07	Thu 25-03-27								
91		Présentation de la journée du design		NA10 days	Mon 25-03-07	Fri 25-03-14	76							
92		Slides journée de design		NA4 days	Mon 25-03-07	Thu 25-03-06								
93		Affiche journée de design		NA7 days	Sun 25-03-02	Mon 25-03-1								
94		Prototype final		NA17 days	Fri 25-02-28	Mon 25-03-266								
95		Résumé pour les juges		NA1 day	Wed 25-03-1	Wed 25-03-1								
96		LP H contrôle de la qualité		NA1 day	Tue 25-03-25	Tue 25-03-25;94;91								
97		Journée du design	Wed 25-03-...1 day		Wed 25-03-2	Wed 25-03-2								
98		LP I: Manuel d'utilisation	Sat 25-04-059 days?		Wed 25-03-25	Sat 25-04-05								
99		LP I.1 Video		NA5 days?	Thu 25-03-27	Wed 25-04-097								
100		Rédaction du script		NA1 day	Wed 25-03-2	Wed 25-03-2								
101		Tournage		NA1 day	Fri 25-03-28	Fri 25-03-28	100							
102		Montage		NA1 day	Mon 25-03-3	Mon 25-03-3	101							
103		LP I.2 Manuel d'utilisation		NA5 days	Thu 25-03-27	Wed 25-04-0								
104		Introduction		NA1 day	Wed 25-03-2	Wed 25-03-2								
105		Aperçu		NA1 day	Thu 25-03-27	Thu 25-03-27								
106		Pour commencer		NA2 days	Thu 25-03-27	Fri 25-03-28								
107		Utiliser le système		NA2 days	Fri 25-03-28	Mon 25-03-3								
108		Dépannage et assistance		NA1 day	Sun 25-03-3	Sun 25-03-3								
109		Documentation du produit		NA2 days	Mon 25-03-3	Tue 25-04-01								
110		Conclusion		NA1 day	Wed 25-03-2	Wed 25-03-2								
111		LP I contrôle de la qualité		NA1 day	Thu 25-04-0	Thu 25-04-0	99;103							
112		LP I soumission		NA1 day	Fri 25-04-04	Fri 25-04-04	111							

Figure 13: Capture d'écran du diagramme de Gantt pour les livrable G, H et F

## 5 Conclusions

Pour conclure, le livrable E passé nous a permis de vérifier le sous-système d'un doigt mécanique et électrique. Ces hypothèses étaient très importantes pour l'apprentissage et la communication avec le prototype. Les résultats obtenus lors de tests nous avait permis de clarifier des hypothèses concernant l'alimentation, le contrôle, le poids ainsi que le fonctionnement d'un doigt. Nous avons converti les informations recollectés lors de ces essai et le contenu des livrable pertinent en présentation de progrès et utilisé les résultats pour les implémenter dans le restant du processus de conception.

Suivant ceci, nous sommes passés à notre livrable F, qui nous a permis de valider l'alimentation 5V fournie par l'Arduino Uno, d'analyser les fluctuations de tension et les pertes énergétiques susceptibles d'affecter la précision et la réactivité des servomoteurs. L'impact des charges dynamiques sur le système ont également été étudié, notamment lors du fonctionnement simultané de plusieurs moteurs. Des tests spécifiques ont permis d'évaluer l'efficacité du contrôle de vitesse et de position des servomoteurs, en vérifiant l'absence de retard ou de perte de couple sous charge. Enfin, des mesures expérimentales et des simulations ont confirmer chacune de ces hypothèses afin d'assurer un fonctionnement optimal du prototype, tout en respectant les critères de fiabilité et de sécurité définis.

Maintenant que nous avons un prototype qui ressemble plus à notre produit final, il est nécessaire de penser à sa future ainsi que la viabilité de sa commercialisation. Pour ce, nous avons fait une série d'analyses économiques, incluant la liste de nos coûts et leurs qualifications et dressé un compte de profit et de pertes ainsi qu'une analyse de la VAN. Pour assurer une analyse complète, il est important de prendre en compte la propriété intellectuelle attaché à notre produit. Pour ce, nous avons fait une étude des marques de commerce et des brevets.

## 6 Bibliographie

- [1] “How Much Does a 3D Printer Cost - Ankermake Canada - AnkerMake,” *AnkerMake*, 2023. <https://www.ankermake.com/ca/blogs/buying-guides/how-much-does-a-3d-printer-cost>
- [2] Ontario Living Wage Network, “Living Wage Rates,” *Ontario Living Wage Network*, 2023. <https://www.ontariolivingwage.ca/rates>
- [3] ISED (Innovation, Science and Economic Development Canada), “Brevets : Notions de base pour inventer la prochaine grande innovation : Apprenez pourquoi les brevets sont importants.” *Gouvernement du Canada*, 2025. <https://www.ontariolivingwage.ca/rates>