

# Livrable de projet H

## Prototype III et rétroaction de clients

GNG 1503 - Génie de la conception  
Faculté de génie - Université d'Ottawa

Charlotte Faragher  
Koffi Martin Kouadio  
Ulrich Donovan Njengoue Ndjiemeue  
Sofia Oickle  
Imane Doriane Ouédraogo

Professeur : Emmanuel Bouendeu



uOttawa

## **TABLE DES MATIERES**

### **1. INTRODUCTION**

### **2. DEVELOPPEMENT DU TROISIEME PROTOTYPE**

### **3. DOCUMENTATION DU PLAN D'ESSAI**

Tableau 1: Plan de prototypage et d'essai

Les critères d'arrêt :

Les objectifs :

### **4. RESULTATS DES TESTS ET ANALYSE**

Tableau 4 : Résultats des Tests & Commentaires pour les pièces

Tableau 5 : Résultats des Tests & Commentaires pour l'instrument de mesure

#### **ANALYSE**

CRITERES FONCTIONNELS

CRITERES NON-FONCTIONNELS

CONTRAINTES

### **5. RETROACTIONS ET COMMENTAIRES DES CLIENTS/UTILISATEURS**

### **6. CONCLUSION**

# 1. Introduction

Ce livrable vise à montrer le processus de la fabrication du prototype 3, ainsi que les tests effectués. Le prototype final est complet physique, afin d'analyser la performance de tous les sous-systèmes ensemble. La construction de l'appareil de mesure et structures était mis en effet. Pour voir tester les objectifs, on a ensuite fait un plan de tests. En faisant des structures de tailles variantes et appliquant la force avec l'appareil de mesure, on a pu documenter et analyser les critères fonctionnels et non-fonctionnels, ainsi que les contraintes. On a ensuite choisi des clients et utilisateurs pour avoir de la rétroaction. Pour faire cela, on a montré les résultats accueils de prototype 3 aux clients et documenter les commentaires pour ce prototype complet.

## 2. Développement du troisième prototype

### **Résultats brefs des prototypes précédents :**

Prototype 1: On a réussi à tester les dimensions et connectivité des pièces d'assemblages avec les pièces de jonction et connecteurs. Les résultats ont montré que la structure formée n'était pas très stable, mais a pris moins de temps à construire que prévu. Au lieu de supporter 50 lb, ça pouvait supporter que 7 lb, avec pas trop de maniabilité. Il y avait de flexibilité et les matériaux sont très accessible, et c'était 7/10 en concernant l'esthétique. On a trouvé que c'était divertissant comme construction avec une bonne durée de vie, mais la fiabilité était très faible. Le cout des pièces d'assemblage a dépassé la valeur cible, mais on avait les mauvaises dimensions présentement, donc les dimensions des structures créées ne sont pas correctes non plus.

Prototype 2: On a réussi à tester l'application de notre concept utilisant la loi de Hooke, mais avec petit précision. Par exemple, l'Arduino interprétait 6 cm pour toutes les distances réelles entre 6.0-6.9 cm. En faisant des calculs pour voir l'impact sur les résultats de forces calculées, c'est évident que cette erreur en précision a un grand effet. Donc, on a conclu qu'il faut régler le code pour plus de précision, ainsi que les ressort à compression sont favorisés.

### **Prototype 3:**

#### Pièces de jonction :

Avec les tests de structures créées pendant prototype 2, c'était trouvé que les pièces de jonctions imprimées en PLA 0.6 mm étaient trop fragiles et ont même cassés. On a donc réimprimé les pièces de jonctions pour avoir une plus grande quantité et assurer que c'était en 0.8 mm. (voir Figure 1.0)



Figure 1.0

Pièces d'assemblage :

Nous avons utilisé les mêmes pièces d'assemblages que pour le deuxième prototype de longueurs de 10 cm. (voir Figure 1.1)



Figure 1.1

Appareil de mesure :

- Plaques:  
En modifiant les plaques pour avoir des trous plus grands pour les barres, on a aussi ajouté des trous pour le cable et les capteurs de distance. (Voir Figure 1.2)



Figure 1.2

- Circuit Arduino:

Nous avons utilisé le même circuit Arduino que pour le prototype 2. (Voir Figure 1.3)

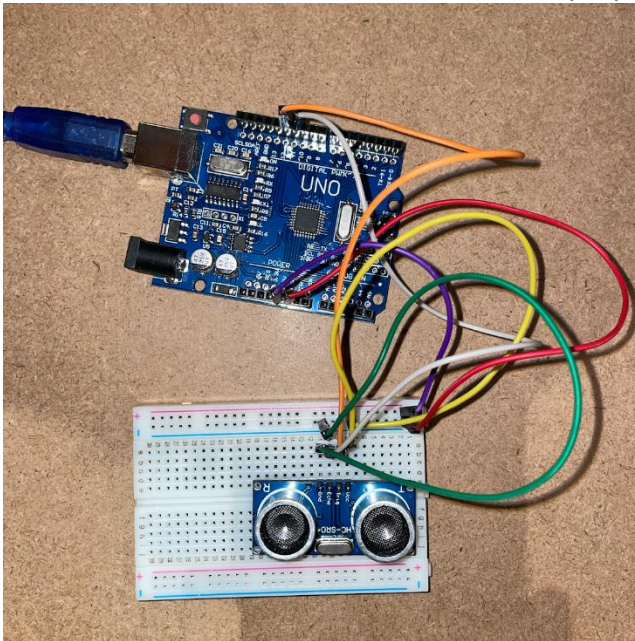


Figure 1.3

- Ressorts :

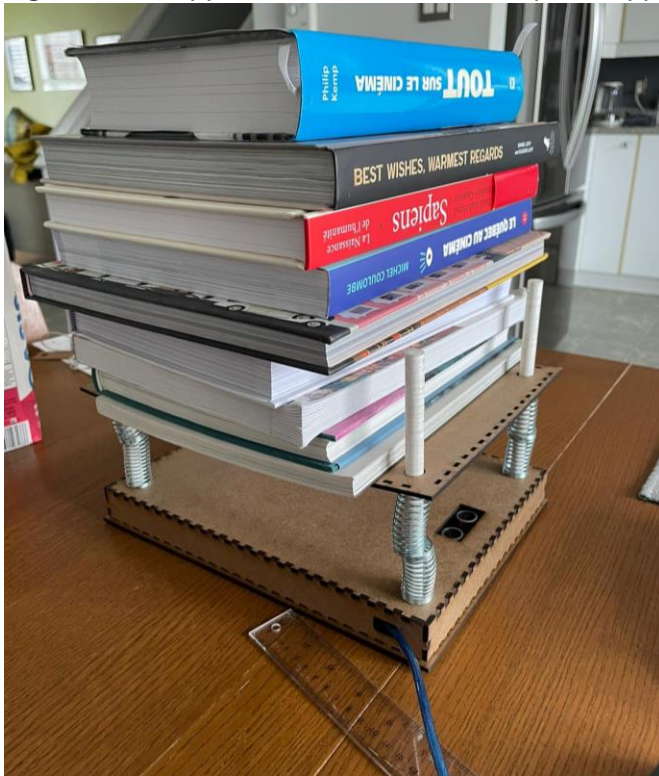
Les ressorts du prototype 2 étaient soit trop petit dans un cas, ou trop épais. Il fallait acheter des nouveaux avec une épaisseur de fil qui se trouve entre les deux. On a décidé de mettre 2 ressorts/barres pour plus de liberté d'hauteur de la structure. (voir Figure 1.4)



Figure 1.4

- Barres :  
On a utilisé les mêmes barres que pour le deuxième prototype.

Figure 1.5 : L'appareil de mesure avec de poids appliqué





### 3. Documentation du plan d’essai

Tableau 1: Plan de prototypage et d’essai

Prototypes					Tests			
No	Type	Objectif	Fidélité	Date	Objectif	Méthode	Usage	Date/ Durée
1	Ciblé physique	Performance des pièces d’assemblage	Faible	28 Oct. (Terminé)	Évaluer la durée de vie des pièces de jonction et d’assemblage	Créer les pièces nécessaires et tester leur durée de vie par leur durabilité. C’est-à-dire de soumettre les pièces en question à différentes forces (les plier, les comprimer, etc.).	Enregistrer la flexibilité, durabilité, maniabilité et durée de vie des pièces d’assemblages et de jonction.	30 Oct.  Durée de 1h (Terminé)
2	Ciblé physique	Performance de l’appareil de mesure	Moyenne	4 Nov. (Terminé)	Évaluer le degré de précision et de fidélité ainsi que le poids maximal supporté de notre concept.	Appliquer des forces sur la base supérieure et mesurer la force appliquée.	Enregistrer la force maximale qui peut être mesurée par notre appareil de mesure.	6 Nov.  Durée de 1h (Terminé)
3	Complet physique	Performance de notre concept	Haute	22 Nov. (Terminé)	Évaluer la durabilité, stabilité, la durée de vie et l’accessibilité du concept en entier.	Simuler une situation de construction de structure (construire une structure avec les pièces d’assemblage et tous les types de pièces de jonction) et soumettre cette structure à des forces et mesurer ces dernières à l’aide de l’appareil de mesure.	Déterminer si notre concept convient aux besoins du client en s’assurant qu’il est conforme aux exigences fonctionnelles, non-fonctionnelles et aux contraintes.	22 Nov.  Durée de 1h (Terminé)

Les tests effectués avec le troisième prototype consistaient à calculer la constante de ressort et à peser des objets, de convertir leur poids en force, en multipliant leur poids (kg) par 9.81N/kg (force gravitationnelle) et de comparer cette force à celle mesurée par notre appareil de mesure.

#### Les critères d'arrêt:

- Test 1: Il sera possible d'arrêter les tests lorsque nous aurons réussi à assembler les pièces avec facilité et qu'elles auront prouvé qu'elles brisent difficilement (c'est-à-dire que nous allons être capables de les manipuler aisément et avec ardeur).
- Test 2: Il sera possible d'arrêter ce test lorsque nous serons parvenus à mesurer une même force à plusieurs reprises (5) et que la force affichée demeure constante. Il faudra également répéter cette étape avec de nombreuses différentes forces (au moins 3).
- Test 3: Nous pourrons cesser les tests lorsque l'ensemble des pièces permet la construction d'une structure stable (en créer 3) et lorsque nous avons vérifié que le capteur de force fonctionne de la bonne manière (mesurer les forces appliquées 3 fois pour vérifier la consistance et ajouter progressivement les forces).

#### Les objectifs :

- ☐ Recevoir de la rétroaction sur les sous-systèmes
- ☐ Vérifier la faisabilité
- ☐ Analyser les sous-systèmes
- ☐ Augmenter la précision des mesures
- ☐ Observer les liens entre sous-systèmes et l'efficacité



# 4. Résultats des tests et analyse

Tout d’abord, il a été possible de mesurer la constante des huit ressort utilisés en appliquant une force prédéterminée sur les ressorts, en mesurant la compression des ressorts et en effectuant une représentation graphique de ces résultats, à partir de la loi de Hooke:

k est égal à la constante de ressort  
 $\Delta x$  est égal à la compression du ressort

Tableau 2 : La compression du ressort en fonction de la force appliquée

5.935	12.1	4.42	58.22235
-------	------	------	----------

Graphique 1



Nous avons alors été capables de déterminer que la constante de ressort est égale à 13.77 N/m dans le cadre de ce projet, ce qui nous a permis de modifier notre code pour obtenir des résultats plus précis.

Ensuite, il a été possible de tester notre prototype en entièreté et d’évaluer la performance de notre solution. Il est important de considérer que les objets en question s’agissent de livres. Nous avons décidé d’utiliser ceux-ci, puisqu’ils permettent une application de force plus uniforme sur les quatre ressorts et parce qu’il s’agit d’objets se trouvant dans des salles de classe, rendant leur accès plutôt facile. Nous avons graduellement augmenté la quantité de livres placée sur notre prototype, mesuré la force appliquée et comparé les résultats (voir Tableau 3). Il est ressorti que notre appareil de mesure n’est pas très fiable. Cela pourrait être attribué à notre plaque supérieure qui n’est pas très solide ou aux modifications apportées au code. En effet, notre plaque supérieure n’est pas très ferme faisant de sorte que lorsqu’on dépose un livre sur la plaque, elle plie un peu vers l’intérieur (voir Figure 2.0). Cela dit, la distance mesurée par le capteur de distance n’est pas réelle à la situation (la distance entre le centre de la plaque du haut et celle du bas est inférieure à la distance entre une extrémité de la plaque du haut et celle du bas). Ainsi, il faudrait utiliser un autre matériau, plus solide ou trouver le lien entre cette différence de mesure et la force appliquée. Pour le code, il a été modifié pour mesurer la distance plus précisément en convertissant des microsecondes en centimètres (pour obtenir plus de décimales), cela dit, il serait intéressant de le revisiter pour vérifier si le manque de précision de notre appareil de mesure peut être attribué à notre code (voir figure 2.1).

Tableau 3 : La différence entre la force appliquée et la force mesurée

Force appliquée (N)	Force mesurée (N)	Différence (N)
8.103	1.08	7.023
18.59	10.36	8.23
30.205	20.79	9.415
42.742	34.68	8.062
56.064	44.58	11.484
67.224	58.61	8.614
78.496	75.56	2.936

95.026	92.34	2.686
114.066	114.92	-0.854

Figure 2.0: La courbure de la plaque supérieure (avec 30 lbs d’appliqué)



Figure 2.1: Code Arduino

```

double result = ((averageDistance - X) * -K);

```

Cela dit, nos objectifs ont été partiellement atteints. Il faut vérifier des aspects de notre solution et possiblement la retravailler pour assurer d’offrir une solution de qualité à notre cliente.

Tableau 4 : Résultats des Tests & Commentaires pour les pièces

Prototype 3	Critère Fonctionnel	Valeur Mesurée	Valeur Ciblée	Observation/Commentaire
	Stabilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Temps de Construction	= 10min	= 15min	Satisfait à la spécification cible
	Poids supporté	= 30lbs	= 50lbs	Insatisfait à la spécification cible
	Stabilité des pièces connectées	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Maniabilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Accessibilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Flexibilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Interface facile D’utilisation	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible

<b>Critère Non-Fonctionnel</b>			
Esthétique	= 9/10	= Oui	Satisfait à la spécification cible
Divertissant	= Oui	= Oui	Satisfait aux exigences
Durée de vie des pièces d'assemblage	= 3 jours	= 3 jours	Satisfait à la spécification cible
Fiabilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
Simplicité des structures	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
<b>Contrainte</b>			
Coût des pièces d'assemblage	= 14.79\$CAD	= 10\$CAD	Insatisfait à la spécification cible
Forme des pièces	= 4po	= 2 à 4po	Satisfait à la spécification cible
Dimensions de la structure crée	= $64po^3$	= 6 à $8.5po^3$	Insatisfait à la spécification cible
Poids	= 0.03lb	= 0.02 à 0.10lb	Satisfait à la spécification cible
Quantité des pièces d'assemblage	= 50 pièces	= 150 à 180 pièces	Insatisfait à la spécification cible
Matériaux écologiques	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible

Tableau 5 : Résultats des Tests & Commentaires pour l'instrument de mesure

Prototype 3	<b>Critère Fonctionnel</b>	Valeur Mesurée	Valeur Ciblée	Observation/Commentaire
	Stabilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Connectivité d'électronique	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Poids supporté	>50lbs	= 50lbs	Satisfait à la spécification cible
	Accessibilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible

	Interface facile d'utilisation	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	<b>Critère Non-Fonctionnel</b>			
	Esthétique	= 8.7/10	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Divertissant	= Oui	= Oui	Satisfait aux exigences
	Durée de vie	>5 ans	= 5 ans	Satisfait à la spécification cible
	Fiabilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Niveau de précision	= 2 décimales Cependant les valeurs affichées ne sont pas égales à celles appliquées	= 1-2 décimales	Insatisfait à la spécification cible

	<b>Contrainte</b>			
	Coût	= 50.63\$CAD	= 50\$CAD	Satisfait à la spécification cible
	Dimensions de la structure	= 915 $po^3$	= 8 $po^3$	Insatisfait à la spécification cible
	Poids	= 1.86lbs	= 25 à 35lbs	Insatisfait à la spécification cible

## Analyse

Afin d'évaluer si notre troisième prototype satisfaisait à toutes nos spécifications cibles après tous les changements apportés après les rétroactions obtenues précédemment, nous avons réalisé une structure avec nos différentes pièces ainsi que la machine à mesurer sur lesquelles des tests ont été réalisés.

## Critères fonctionnels

Après avoir effectué les divers tests sur notre troisième prototype, nous sommes généralement satisfaits des résultats obtenus. En ce qui concerne les pièces d'assemblage, notre prototype satisfait bien nos exigences comme la stabilité, le temps de construction, la stabilité des pièces connectées, la maniabilité, la flexibilité, l'accessibilité, la facilité d'utilisation. En effet, les modifications que nous avons apportées depuis le premier prototypage telles que le changement des longueurs des pièces, de leur précision, nous ont permis d'améliorer notre solution finale pour les pièces en les rendant beaucoup plus stables, en diminuant le temps de construction car maintenant plus facile à manipuler, à manier du fait qu'ils ne tombent plus lorsque connectés et ne sont pas non plus difficiles à désassembler.

Concernant l'appareil de mesure, il coche également toutes nos cases du point de vue fonctionnel à savoir la stabilité, la capacité d'être connecté à un ordinateur, l'accessibilité, la facilité d'utilisation et la capacité de supporter un poids de 50lbs. Les modifications apportées au niveau de la structure ont permis d'obtenir une structure solide capable de supporter de lourdes charges. En effet, la structure précédente qui n'était composée que d'une petite planche de bois supporté par une barre autour de laquelle était enroulé un ressort, a été améliorée en une boîte dans laquelle est placée toutes nos composantes électroniques, et les bases de nos 4 barres autour desquelles se trouvent les ressorts. Ces barres supportent également une plaque supérieure sur laquelle sera placée les charges et qui descendra pour comprimer nos ressorts. Ainsi, nous sommes satisfaits des résultats de notre prototype 3. Cependant, nous ne sommes pas fermés à l'idée d'apporter de nouvelles modifications pour améliorer encore plus notre solution finale même si nous n'avons pas encore idée de le faire.

## Critères non-fonctionnels

A ce sujet, nous sommes assez satisfaits de notre prototype. Concernant les pièces, l'amélioration apportée pour rendre les structures réalisées plus stables a amélioré l'esthétique de notre solution car des structures bien formées, non penchées comme nous l'avons eu lors des tests avec le premier prototype sont bien plus agréables à regarder. Ainsi, nous sommes passés d'une note de 7 à un 9/10 pour l'esthétique de notre structure. Nos pièces sont également plus fiables, il n'y a plus de risques que les pièces se déconnectent au moindre toucher. Les pièces sont toujours aussi divertissantes, durables et permettent de réaliser des structures simples ou complexes, dépendamment du résultat recherché. L'instrument de mesure, quant à lui, est maintenant passé d'une note de 5 à 8.7/10 pour l'esthétique. Les modifications apportées au niveau de la structure de l'appareil ont beaucoup plus aux personnes interrogées sur l'esthétique de notre appareil. Aussi, nous avons apporté des modifications aux ressorts qui sont passés de ressorts d'extension en ressorts de compression et au code de notre Arduino permettant à présent d'obtenir des valeurs de distance plus précises et donc des valeurs de force qui le sont aussi. Les aspects esthétique, divertissant, fiable, ainsi

que la durée de vie ont donc tous été satisfaits par notre prototype. Cependant, pour le niveau de précision, les valeurs des forces mesurées ne sont pas exactes à celles appliquées. Nous retravaillerons notre code afin d'obtenir des valeurs les plus précises possibles.

## Contraintes

Les contraintes auxquelles nous faisons face pour le développement de notre prototype se divisent en deux grandes parties à savoir les contraintes par rapport à l'appareil de mesure d'une part et d'une autre part celles par rapport aux pièces (d'assemblage et de jonction). Concernant les pièces d'assemblage de notre prototype, nous observons que les valeurs obtenues respectent les spécifications cibles fixées vis-à-vis de l'utilisation des matériaux écologiques, la forme des pièces d'assemblage, leur poids qui est de 0.03lb au détriment du coût des pièces (14.79\$ contre 10\$), les dimensions de la structure ( $64\text{ po}^3$  Contre  $6-8.5\text{ po}^3$  ) et le nombre de pièces (50 pièces contre 150 pièces). En effet, depuis les tests avec le premier prototype, nous avons fait plusieurs modifications à nos pièces. Nous avons décidé d'utiliser plutôt des pièces d'assemblage d'une longueur de 4po au lieu de celles de 8 et 12po que notre cliente trouvait beaucoup trop longues. Cependant, nous ne respectons toujours pas notre valeur maximale de  $8.5\text{ po}^3$  Pour le volume des structures. Nous ne considérons cependant pas ce fait comme un point à modifier, nous sommes satisfaits de cette mesure. Le poids unitaire des pièces est toujours bien respecté même si nous passons d'un poids de 0.05 à 0.06lb à 0.03lb. Malheureusement, nous ne rentrons toujours pas dans le budget que nous nous étions fixés pour nos pièces qui était de 10\$ ce qui était prévisible puisque comme nous l'avions mentionné dans les résultats des du premier prototype, les pièces faites en matière écologique, durables, d'une longueur de 4po et rentrant dans nos critères ne sont en vente que pour un montant nettement supérieur à 10\$. Cela ne nous empêche néanmoins pas de respecter notre budget total pour la réalisation de la solution finale.

Concernant l'appareil de mesure, le poids de notre appareil qui est de 1.86lbs ne satisfait pas nos valeurs qui étaient entre 25 et 35lbs. Nous sommes cependant, extrêmement satisfaits de ces résultats car ils signifient que notre appareil sera extrêmement facile à transporter l'appareil. Son coût et ses dimensions sont cependant des exigences insatisfaites. Les composantes électroniques comme l'Arduino, le breadboard, les capteurs de distance, la câble USB de type A/B, les packs de jumper cables, et aussi les ressorts et les barres en PLA imprimées en 3D, les plaques de MDF utilisées, ont fait revenir notre instrument à un coût total de 50.63\$CAD. Nous ne voyons aucune alternative pour aucune de ses composantes que nous pourrions utiliser afin de réduire le coût. Aussi, à propos des dimensions, afin d'avoir un appareil le plus performant possible au niveau de la capacité à supporter des charges, nous avons opté pour une nouvelle forme structure composée d'une boîte à la base et d'une plaque supérieure supportée par des barres en PLA, ce qui nous a amené à avoir une structure de  $915\text{ po}^3$  de volume. Cela est nettement supérieur à la valeur ciblée de  $8\text{ po}^3$ . Mais nous sommes satisfaits du résultat obtenu et pensons que ces dimensions nous permettent d'avoir un produit final performant. Ainsi, bien que certaines des exigences n'aient pas été satisfaites, nous pensons que les valeurs obtenues lors des tests nous permettent d'avoir des pièces stables, durables, sécuritaires et divertissantes et aussi un appareil de mesure fiable, sécuritaire et

performant. Nous ne comptons donc pas apporter des modifications dans le sens de satisfaire aux contraintes non satisfaites mais nous restons ouverts à apporter des modifications afin d'optimiser encore plus notre solution finale.

## 5. Rétroactions et commentaires des clients/utilisateurs

Cliente 1 :

Après avoir montré notre 3e prototype, elle se demande combien de pièces d'assemblages peuvent réellement être fourni pour une variété de structures, et de quelle taille. Elle a aussi se poser la question si les élèves plus âgés pourraient opérer l'appareil de mesure aussi. Puis ils pourraient voir le fonctionnement de l'appareil de mesure en même temps. En concernant les adultes, elle aimerait avoir un manuel inclus pour assurer que n'importe quelle personne en charge de l'atelier peut assembler et utiliser l'appareil et savoir le nombre de pièces par équipe.

Client 2 :

Le client voulait confirmer que les pièces d'assemblages ne casseraient pas, simplement désassembler une fois que trop de force serait appliquer. En plus, il se demander si les poids appliqués doivent être plats, nous limitant seulement à des livres. En termes d'affichage à l'écran, il est impressionné avec l'utilisation d'un ordinateur, mais aimerait aussi peut-être l'affichage de la distance mesuré, alors que les élèves plus âgés peuvent voir comment la force calculée varie selon cela.

## 6. Conclusion

Au terme de ce livrable où il était question d'effectuer un plan de prototypage et effectuer des tests pour notre prototype 3, il en ressort qu'il nous reste encore quelques modifications à faire au niveau de l'instrument de mesure afin d'obtenir des résultats les plus précis possibles. Nous travaillerons donc à optimiser le code des capteurs de distance tout au long des quelques derniers qu'il nous reste afin de présenter un produit final abouti, durable, précis, stable à notre client.



