

GNG1503

Livrable de projet K:
Manuel d'utilisation et de produit pour le projet de conception

Atelier de « Forces et Structures »

Soumis par:

KLUSIC-FA23

Charlotte Faragher, #300446484

Koffi Martin Kouadio, #300216202

Ulrich Donovan Njengoue Ndjiemeue, #300326849

Sofia Oickle, #300153059

Imane Doriane Ouédraogo, #300329472

03 décembre 2024

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
2.1 Conventions	4
2.2 Mises en garde & avertissements.....	4
3 Pour commencer	5
3.1 Considérations pour la configuration.....	11
3.2 Considérations pour l'accès des utilisateurs	13
3.3 Accéder/installation du système	14
3.4 Organisation du système & navigation	16
3.5 Quitter le système	18
4 Utiliser le système.....	19
4.1 Fonctionnement du produit.....	19
4.1.1 <Sous-fonction/Sous-caractéristique donnée>	12
5 Dépannage & assistance	19
5.1 Messages ou comportements d'erreur	13
5.2 Considérations spéciales	13
5.3 Entretien.....	19

5.4	Assistance	19
6	Documentation du produit	21
6.1	<Sous-système 1 du prototype>	14
6.1.1	NDM (Nomenclature des Matériaux)	21
6.1.2	Liste d'équipements	22
6.1.3	Instructions.....	23
6.2	Essais & validation	23
7	Conclusions et recommandations pour les travaux futurs	33
8	Bibliographie.....	35
	APPENDICES	36
9	APPENDICE I: Fichiers de conception	36
10	APPENDICE II: Autres Appendices	37

Liste de figures

Figure 1

Figure 2.0 - Figure 2.8

Figure 3.0 - 3.2

Tableau 1

Tableau 2

Tableau 3

Tableau 4

Graphique 1

Liste de tableaux

Table 1. Acronymes	vi
Table 3. Documents référencés	36
.	

Liste d'acronymes et glossaire

Table 1. Acronymes

Acronyme	Définition
KLUSIC	Kit for Learning and Understanding Structural Integrity and Creation
MDF	Medium Density Fiberboard
MUP	Manuel d'Utilisation et de Produit
PLA	Polylactic acid

1 Introduction

Ce manuel d'utilisation et de produit (MUP) fournit les informations nécessaires aux étudiants et à toute autre personne pour utiliser efficacement la trousse conçue pour l'atelier « Forces et Structures », permettant de construire des structures et de mesurer les forces auxquelles elles sont soumises et pour la documentation du prototype. Notre travail s'inscrit dans l'initiative de promouvoir un apprentissage pratique et ludique des concepts de résistances des différents types de structures pour le Programme de sensibilisation en génie de l'Université d'Ottawa dans le cadre de leur atelier « Forces et Structures ». Avec pour objectifs de fournir une solution durable, **économique, sécuritaire, amusante**. Cette solution était assez coûteuse et n'offrait pas la possibilité de réaliser une variété de formes, nous y avons donc renoncé. Nous avons finalement opté pour une trousse contenant **des tiges de bois, des pièces de jonction cubiques et en demi-sphère faites à l'imprimante 3D et un appareil de mesure composé de capteur de distance, de ressorts et de plaques en MDF**. Ce document présente les fruits d'un processus de conception rigoureux mettant l'accent sur **l'empathie et les essais itératifs**, structuré dans le but de guider les utilisateurs, avec une description claire de chaque composante de la trousse et de leur fonctionnement, des instructions claires sur la manière d'installer la machine à mesurer pour une utilisation optimale et sécuritaire du produit. Ce manuel est destiné aux étudiants, aux personnels de l'atelier, ou quiconque d'autre voudra reproduire notre produit, KLUSIC.

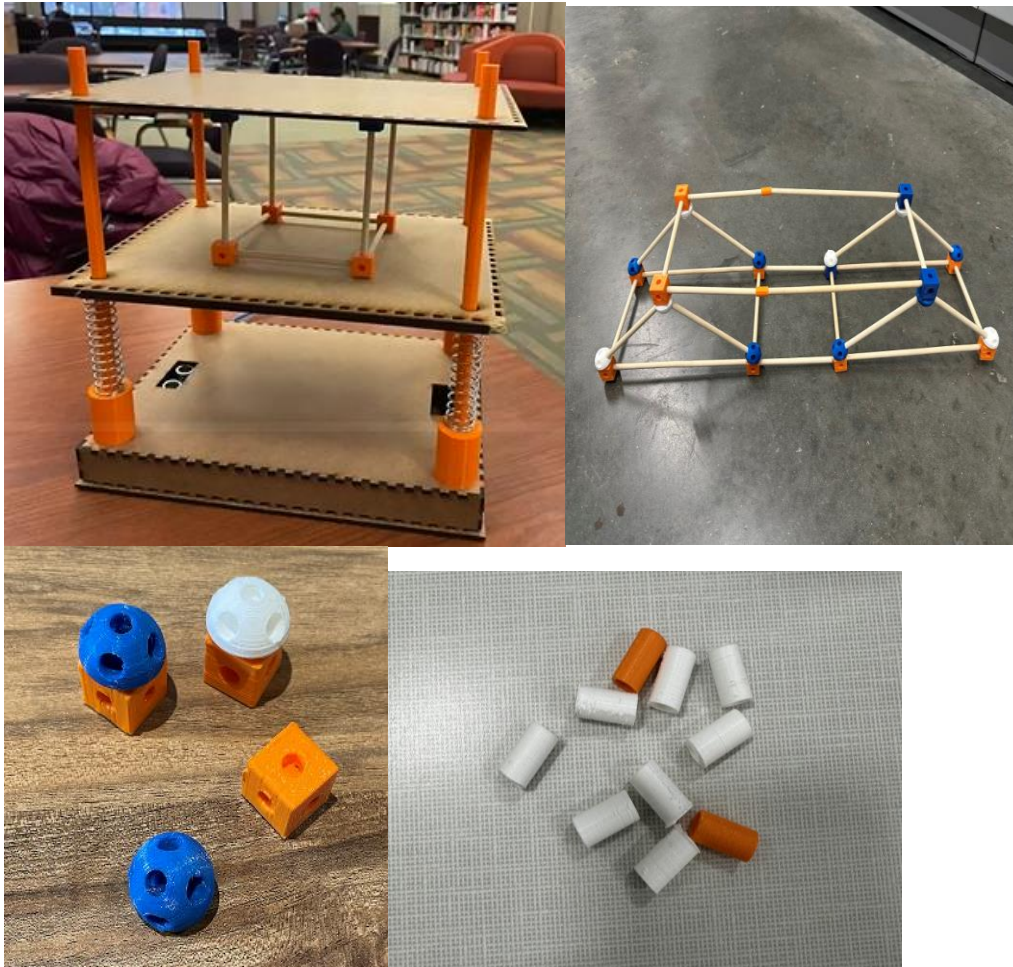
2 Aperçu

Depuis quelques temps déjà, l'initiation des jeunes aux STIM est une réelle préoccupation pour l'univers des sciences, pour les centres de formation. C'est dans cet optique que le bureau des Programmes de sensibilisation en génie, qui est un département d'éducation bilingue à but non lucratif qui a mission d'introduire les STIM auprès des jeunes offrent plusieurs programmes visant à éveiller l'intérêt des jeunes envers ce domaine. L'un des programmes offerts est l'atelier "Forces et structures" qui permet aux élèves de se familiariser avec différentes formes de structures et leurs résistances face aux forces appliquées. Notre produit vient ainsi donc se présenter comme une solution au problème qui se pose qui est de **concevoir un instrument de mesure des forces et des pièces d'assemblage avec lesquelles seront confectionnées les structures.**

Les utilisateurs, composés principalement des élèves et du personnel de l'atelier ont pour besoins fondamentaux :

- **Un faible coût du produit final**
- **Un affichage clair des mesures et la simplicité d'utilisation du produit**
- **Des matériaux soigneusement sélectionnés pour leur durabilité et leur sécurité pour les élèves**
- **Un design pensé pour une expérience pédagogique engageante.**

Notre produit se différencie des autres par le fait qu'il soit facilement démontable et très sécuritaire. Il permet aux élèves un apprentissage interactif, amusant, tout en renforçant leur compréhension des concepts fondamentaux de physique comme la résistance des structures, la Loi de Hooke. Ce produit permet d'adapter l'apprentissage selon l'âge et assurer ainsi une progression dans l'apprentissage. Aussi, pendant la construction, il est possible pour les élèves d'observer directement les différents concepts étudiés pendant l'atelier, facilitant ainsi le travail des chargés de programme en leur offrant un moyen plus simple d'expliquer ces concepts.



Figure[1] : Prototype final

Caractéristiques du produit final :

- **Produit sécuritaire** : les matériaux utilisés sont sans danger pour les élèves. Ils ne sont pas tranchants et sont aussi légers.
- **Modularité et personnalisation** : L'appareil de mesure est complètement démontable. Aussi, toutes les pièces (d'assemblage et jonctions) peuvent être utilisées par les enfants comme bon leur semble pour faire des structures variées.
- **Mesure des forces appliquées sur les structures** : Le fonctionnement de l'instrument est basé sur la loi de Hooke avec l'utilisation de capteur à ultrasons et de ressorts pour mesurer la déformation.

Architecture du système :

- Des tiges en bois de 10 cm de long
- Des pièces de jonction sphériques et cubiques
- Des pièces de jonction en tube creux

- Un appareil de mesure démontable à trois niveaux, fonctionnant avec des capteurs à ultrasons et des ressorts

Accès utilisateur :

L'accès aux valeurs mesurées par l'appareil de mesure se fait en connectant l'instrument à un ordinateur par le câble de l'appareil de mesure. Ensuite, il faut télécharger le code de l'appareil de mesure qui est fourni dans ce manuel, et faire rouler le code et afficher le moniteur de série afin de voir les valeurs des forces appliquées.

2.1 Conventions

Nous voulons offrir à l'utilisateur une expérience claire, simple et accessible. Pour ce faire, nous avons indiqué toutes les étapes et instructions à suivre sous forme d'énumération (commençant par "1") et les étapes importantes sont mises en évidence en gras pour une meilleure lisibilité.

2.2 Mises en garde & avertissements

Mise en garde

- **Garder hors de portée des enfants de moins de 6 ans**
- **Pièces d'assemblage fragile à conserver de préférence dans la boîte de mdf**
- **Le circuit électrique nécessite d'être connecté à une alimentation électrique telle qu'un ordinateur, une prise électrique ou une pile de 5V**
- **Protéger le circuit électrique contre l'eau et contre la poussière**

Avertissements

- **En cas de soucis, veuillez s'il vous plaît, consulter le manuel d'utilisation et de produit**
- **Nous ne sommes pas responsables d'erreurs associées à des modifications apportées au prototype**

3 Pour commencer

L'assemblage de l'appareil de mesure



Figure 2.0: L'équipement pour l'appareil de mesure des forces



Figure 2.1 : L'assemblage des barres

1. Connecter les barres orange extrudées aux bouts des barres intrudées pour faire 4 supports (Figure 2.1).
2. Construire la boîte, gardant le haut ouvert pour maintenant.

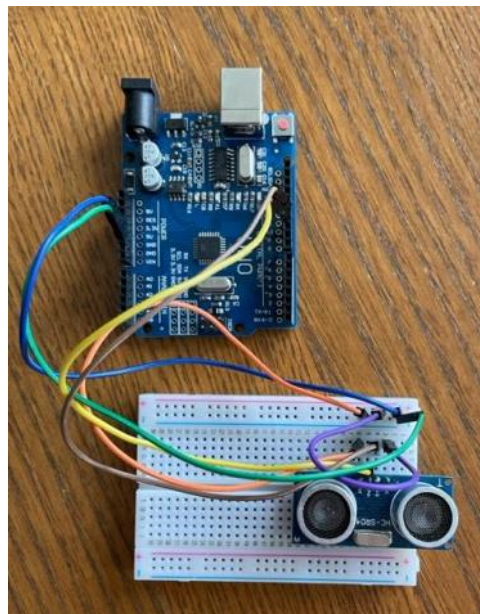


Figure 2.2 : Le circuit arduino

3. Brancher les fils, corde et capteur de distance au Arduino comme ci-dessus (Figure 2.2) :

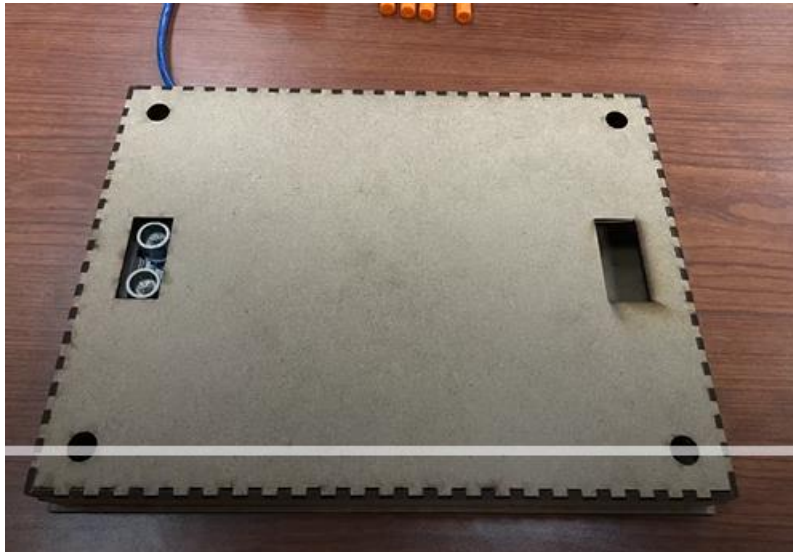


Figure 2.3 : La boîte de MDF

4. Mettre l'Arduino et fils respectives dans la boîte, alignant aux trous dans la boîte. Fermer le couvert de la boîte (Figure 2.3).



Figure 2.4 : Assemblage des barres de support et de la boîte de MDF

5. Insérer les 4 barres dans les 4 trous comme ci-dessus (Figure 2.4):

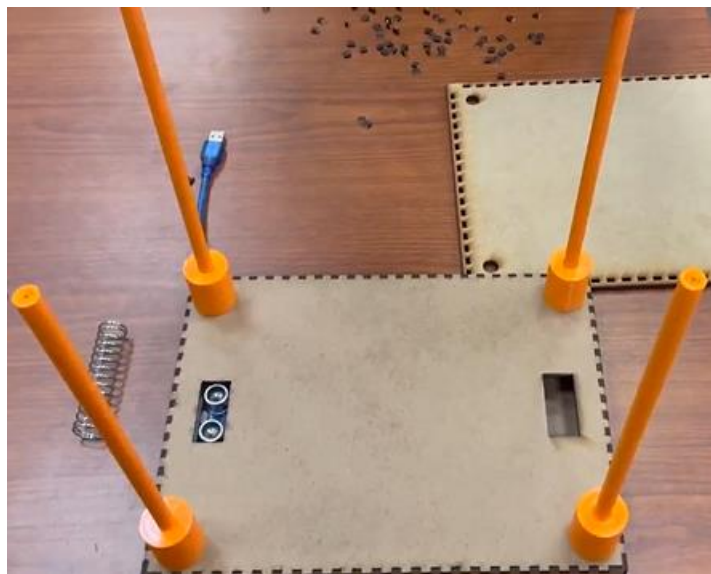


Figure 2.5: Appareil de mesure avec les tubes orange épais

6. Ajouter un tube orange épais sur chaque barre (Figure 2.5).



Figure 2.6 : Emplacement des ressorts

7. Ajouter un ressort à chaque barre (Figure 2.6).



Figure 2.7: Emplacement des plaques supérieures

8. Déposer la troisième plaque au-dessus des ressorts (Figure 2.7).
9. Assurer d'avoir l'application Arduino IDE sur ton ordinateur.

Comment mesurer la force avec l'appareil et la structure:

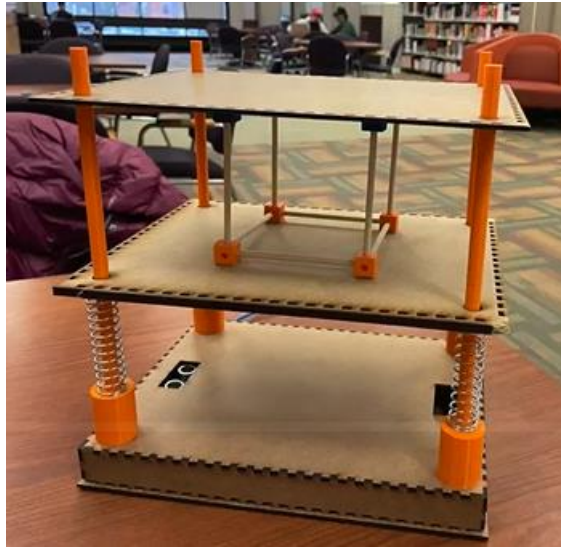


Figure 2.8: Produit final

10. Déposer votre structure sur cette plaque, puis mettre la dernière plaque qui reste au-dessus (Figure 2.8).
11. Connecter la corde bleue à ton ordinateur et ouvrir Arduino pour démarrer le code.
12. Avec la force appliquée sur la plaque au-dessus, tu peux maintenant voir la valeur numérique en N.

3.1 Considérations pour la configuration

Prototype I (Figure 3.0):

Un prototype ciblé physique, les pièces de jonction et assemblage étaient faites pour analyser la performance, durabilité et flexibilité une fois mises ensemble. De faible fidélité, la stabilité et liberté de formes étaient aussi testées.

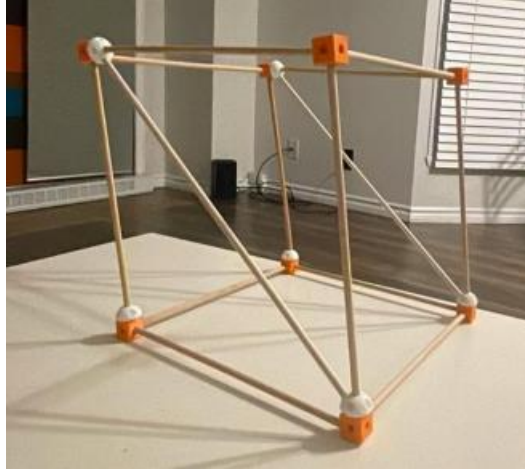


Figure 3.0: Prototype I

Prototype II (Figure 3.1)

Un prototype ciblé physique pour évaluer la performance de l'appareil de mesure, on a pu tester l'efficacité de notre concept utilisant la loi de Hooke. De fidélité moyenne, on a utilisé les matériaux plus en petite taille pour mettre l'accent sur la fonctionnalité du code et la précision donnée. En concevant un breadboard, un Arduino Uno R3, les connecteurs et capteur de distance du MakerSpace, le test était possible. Il faut également avoir une petite plaque et une barre et ressort.

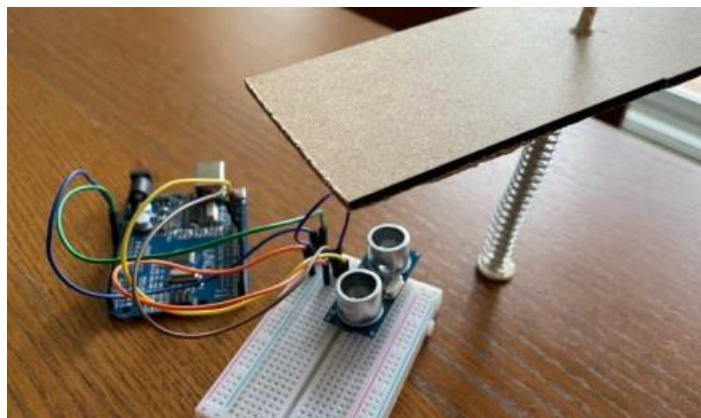


Figure 3.1: Prototype II

Prototype III (Figure 3.2)

Le prototype complet physique d'haute-fidélité était à but d'évaluer la performance du concept complet en observant la durabilité, stabilité, la durée de vie et l'accessibilité. En utilisant des plaques MDF de dimensions actuelles selon l'appareil de mesure, tous les composants pour le code et les matériaux pour assembler l'appareil, on a testé l'usage avec des poids appliqués.



Figure 3.2: Prototype III

3.2 Considérations pour l'accès des utilisateurs

Les utilisateurs de notre produit sont:

- ❖ **Les élèves de 3e en 8e année:** Ils sont chargés de réaliser les différentes structures à l'aide des bâtonnets en bois et des pièces d'assemblage fournis.
- ❖ **Les enseignants:** Ils seront chargés de monter l'appareil de mesure comme décrit dans le processus de montage, et ils ont auront accès à l'interface Arduino où sera affichée les résultats

3.3 Accéder/installation du système

❖ Prototype physique

(Voir les différentes étapes décrites ci-dessus dans la Section 3)

Pour imprimer les pièces en PLA, installer Onshape et créer un compte si vous en n'a pas. Veuillez consulter ce [lien](#) CAO et télécharger chaque fichier en .stl pour le convertir sur UltiMaker Cura (télécharger [ici](#)) sur votre ordinateur:

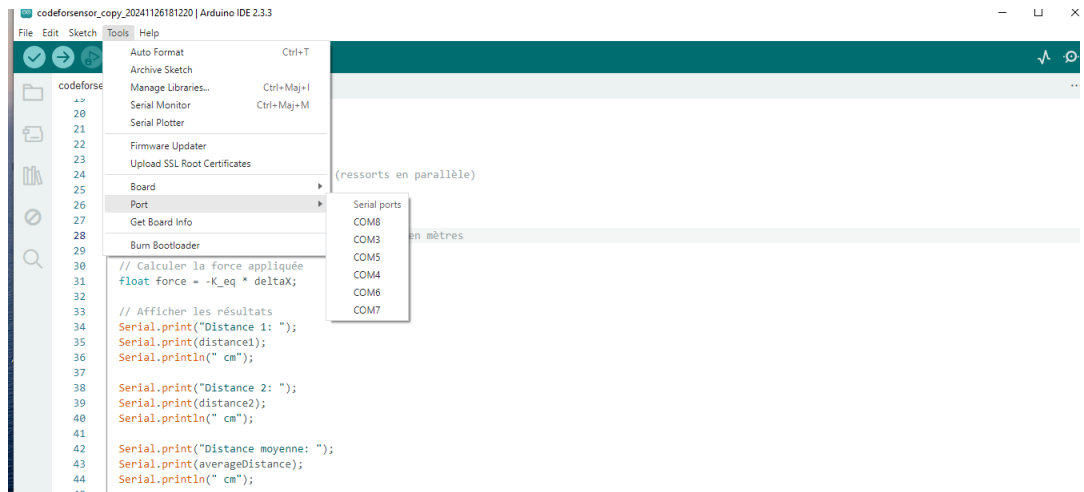
Connecteurs:

<https://cad.onshape.com/documents/6c072249b839f848379cc42d/w/cdc008cdd270a22fa9ae8f06/e/c8324a66e25722556178d2d9>

(Notez bien que vous pouvez multiplier le nombre de pièces imprimer une fois sur UltiMaker Cura)

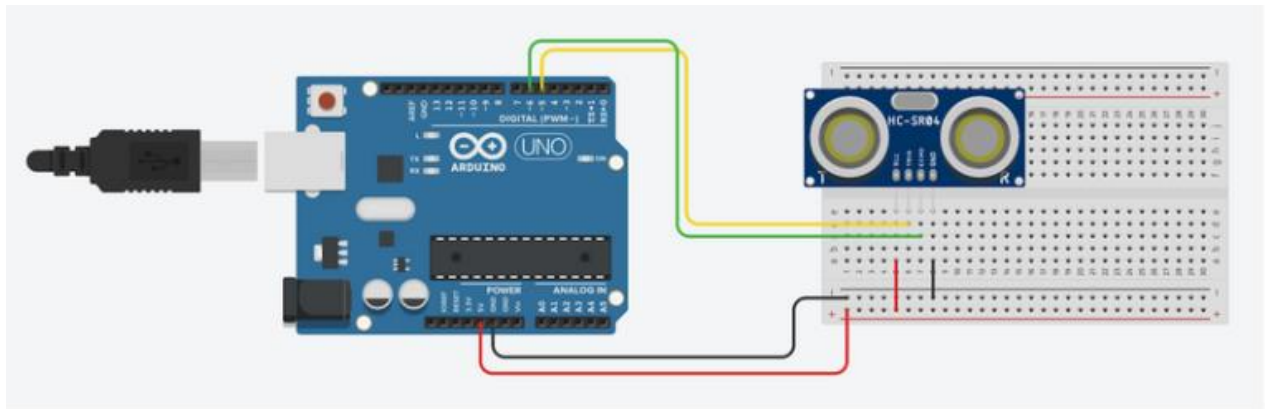
❖ Prototype logicielle

1. Télécharger l'Arduino IDE à partir du lien suivant:
<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
2. Connectez la carte Arduino à un port USB ouvert de l'ordinateur à l'aide du câble USB. Les DELs de la carte Arduino doivent s'allumer, car la connexion USB est alimentée.
3. Lancez le logiciel Arduino IDE et choisissez 'Arduino Uno' dans le menu déroulant Outils>Carte>Arduino AVR Boards. Dans l'onglet "Outils", sélectionnez "Port" et choisissez le port série auquel l'Arduino est connecté. Si le port série connecté n'apparaît pas, débranchez l'Arduino, et voyez quel port disparaît. Rebranchez la carte et sélectionnez ce port. N'oubliez pas que si vous ne sélectionnez pas le port série correct, vous ne pourrez pas afficher de sortie imprimée.

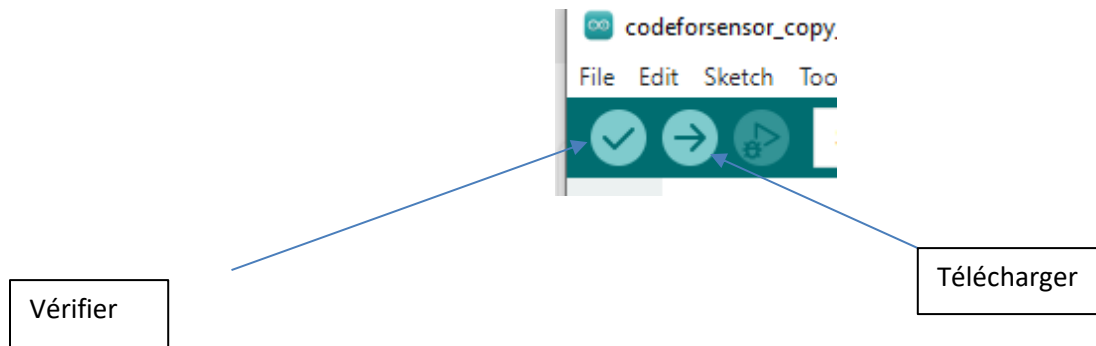


Remarque : si le port n'est pas détecté par l'IDE, il peut s'agir d'une erreur de pilote. Essayez de télécharger et d'installer le pilote CH340 suivant sur votre ordinateur (choisissez la version Windows ou MAC): http://www.wch-ic.com/downloads/CH341SER_ZIP.htm

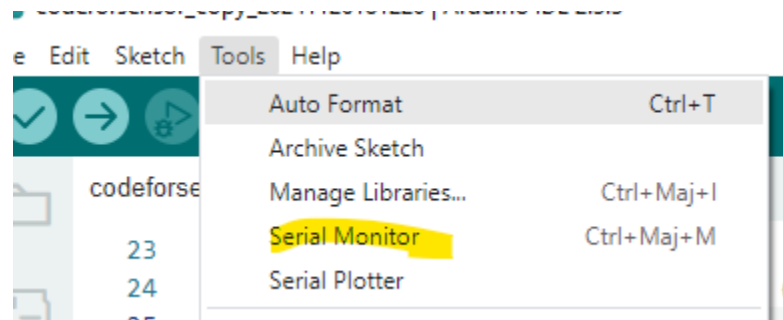
4. Créez le circuit dans le schéma de câblage ci-dessous



5. Copier le code suivant (**Voir appendice II**)
6. Maintenant vérifiez et téléchargez le croquis sur la carte Arduino. Pour vérifier, cliquez sur la coche en haut à gauche. L'IDE Arduino essaiera de compiler l'esquisse (sans télécharger à la carte), et avertira de toute erreur de syntaxe dans la programmation. Une fois cette opération terminée, appuyez sur le bouton de téléchargement (flèche à côté de la coche). Le croquis sera recompilé et téléversé sur la carte.



7. Ouvrir le moniteur série pour lire les valeurs



3.4 Organisation du système & navigation

Pour les prototypes physiques

Organisation du système:

Composante principale 1:

Les jointes en forme de cube qui a un trou chaque coté qui consissent à maintenir les bâtons de bois.

Les jointes en formes cylindres qui contiennent 4 trous. Elles permettent de faire plusieurs formes de structures.

Les jointes en formes sphères creux qui permettent de joindre deux bâtons ensembles pour les rendre plus long.

Les bâtons en bois

Ces pièces sont utiliser pour construire notre structure.

Composante principale 2:

Microcontrôleur Arduino est utilisé pour faire passer l'énergie entre les éléments connectés

Ordinateur est utilisé pour connecter l'Arduino et affiche les résultats.

Câbles de prototypage sont utilisé pour la connexion entre l'Arduino et IDE.

Alimentation électrique (câble USB) est utilisé pour connecter l'Arduino à l'ordinateur.

IDE Arduino est utilisé pour afficher les valeurs et pour la partie code est utilisé pour faire passer l'énergie entre les éléments connectés

Le capteur de distance est utilisé pour prendre la distance entre un point A(depart)et un point B (arrivé).

3.5 Quitter le système

Pour ranger correctement la structure construite, il suffit de:

1. Disjoindre les tiges d'assemblages des pièces de jonction. Si la structure comporte des pièces de jonction unies, il faut également les séparer pour ranger correctement la structure. Cela peut être fait en tirant sur les deux pièces en question, dans des directions différentes. Placer les pièces dans un sac pour éviter de les égarer.

Pour correctement ranger l'appareil de mesure, il faut:

1. Retirer les plaques supérieures de l'appareil, plus précisément faire glisser la deuxième et troisième plaque vers le haut.
2. Retirer les ressorts et les tubes orange épais en les glissant aussi vers le haut. Veuillez les placer dans un sac pour éviter de les égarer.
3. Retirer les barres de support, pour éviter de les endommager durant le transport de l'appareil. Il suffit de soulever la boîte contenant le circuit. Il est aussi recommandé de désassembler les barres de support. Finalement ouvrez la boîte et placez-les dans celle-ci avant de la refermer.

Pour correctement quitter et éteindre le programme, il faut avant tout, le débrancher de l'ordinateur. Par la suite, il faut quitter l'application de Arduino IDE et éteindre l'ordinateur.

4 Utiliser le système.

4.1 Fonctionnement du produit

Le système est complet. Vérifier que le microcontrôleur Arduino est bien relié aux broches comme indiqué dans le code, ainsi que le capteur de distance. En effet, le capteur de distance mesure la distance entre la plaque du bas dans laquelle il est placé. Ensuite, à l'aide du code écrit à l'aide de l'IDE Arduino, on capture juste la compression du ressort et on fait l'analogie avec la loi de Hooke. La force mesurée s'applique juste au dessus de la plaque du dessus sous laquelle est placée votre structure et renvoie le résultat à l'écran.

5 Dépannage & assistance

5.1 Entretien

Ce produit n'a besoin que d'un entretien minimal. Vu la solidité des composantes, il faut juste veiller à ne pas verser un liquide sur les composantes électroniques et les ranger soigneusement.

5.2 Assistance

Pour obtenir une assistance d'urgence ou une assistance système, veuillez suivre les directives ci-dessous. Il est important de toujours mettre dans l'objet de votre requête le dysfonctionnement observé suivi du nom du projet suivant le format suivant **dysfonctionnement-Atelier Forces et Structures**.

- **Assistance en cas d'urgence**
Nom: Ulrich Njengoue
Email: unjen054@uottawa.ca
Contact en cas d'urgence: +1 (905) -783-3547

–

– **Support technique**

Nom: Charlotte Faragher

Email: cfara089@uottawa.ca

Contact en cas d'urgence: +1 (787) 334-1209

– **Support de production**

Nom: Sofia Oickle

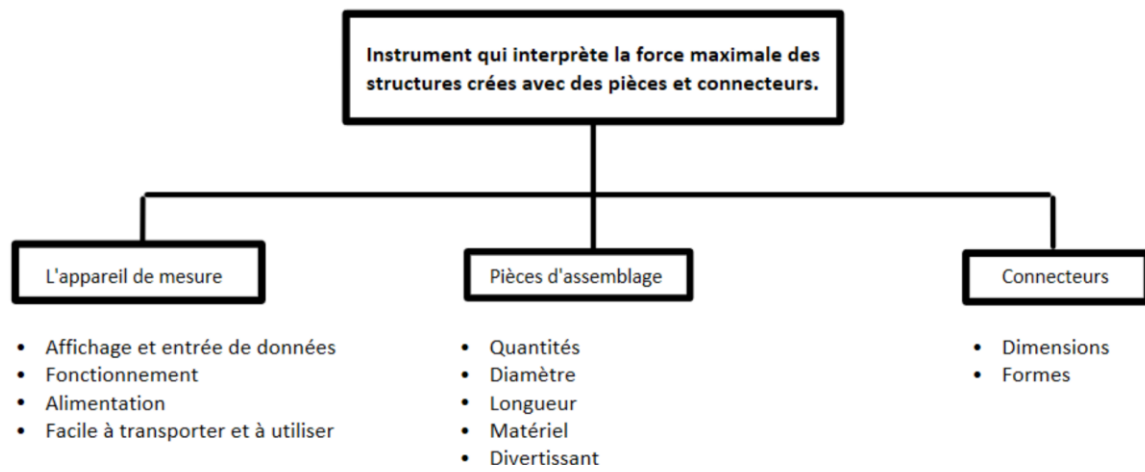
Email: soick064@uottawa.ca

Contact en cas d'urgence: +1 (903) 238-9004

6 Documentation du produit

6.1 Sous-système 1 : L'appareil de mesure

Notre produit est divisé en trois sous-systèmes comme suit :



6.1.1 NDM (Nomenclature des Matériaux)

	Nom de l'item	Description	Unité de mesure	Quantité	Coût unitaire	Coût étendu	Lien
N°1	Plaque MDF en bois boîte de base	18x24x1/8	po	1	\$3.00	\$3.00	https://makerepo.com/job_orders/414/steps
N°2	Ressorts de compression	82.6x20.63	mm	4	\$1.38	\$5.52	https://www.canadiantire.ca/en/pdp/hillman/0462050p.0462053.html?colorCode=SPRIN
N°3	Arduino UNO R3	Pour mesurer les données des capteurs	S.O	1	\$15.25	\$15.25	https://makerstore.ca/shop/ols/products/arduino-uno-r3
N°4	Jumper Cables(Connecteurs Arduino)	pack de 10 (femelle et male)	S.O	2	\$1.00	\$2.00	https://makerstore.ca/shop/ols/products/jumper-cables

N°5	USB type A/B(Connecteur Arduino)	304.8mm	mm	1	\$2.75	\$2.75	https://makerstore.ca/shop/ols/products/us
N°6	Breadboard(Connecteurs Arduino)	Board	S.O	1	\$10.00	\$10.00	https://makerstore.ca/shop/ols/products/bre
N°7	Capteur de distance	Capable de prendre la force en distance	S.O	1	\$2.00	\$2.00	https://makerstore.ca/shop/ols/products/hc
N°8	Plaque MDF en bois sur lesquelles reposent les charges	12x24x1/4	po	1	\$3.00	\$3.00	
N°9	Tubes en dessous les ressorts	40 haut et diametre de 30	mm	1	\$18.78	\$18.78	https://cad.onshape.com/documents/ace048
	Coût total du produit avec taxes					\$62.3	

6.1.2 Liste d'équipements

	Nom de l'item	Description	Type	# du prototype	Source
1	Microcontrôleur Arduino	Microcontrôleur Arduino	Matériel	2, 3	Makerlab
2	Ordinateur	Pour voir les valeurs mesurées par les capteurs et l'Arduino	Matériel	2, 3	Personnel
3	Jumper Câbles	Pour connecter le capteur et l'Arduino au breadboard	Matériel	2, 3	Makerlab
4	Alimentation électrique (câble USB)	Alimentation électrique (câble USB)	Matériel	2, 3	Makerlab
5	IDE Arduino	Logiciel sur ordinateur, sert à écrire et rouler le code	Logiciel	2, 3	Makerlab
6	Breadboard	Breadboard	Matériel	2, 3	Makerlab

7	Capteur de distance	Sert à mesurer la distance entre la plaque du milieu et la boîte	Matériel	2, 3	Makerlab
---	---------------------	--	----------	------	----------

6.1.3 Instructions

Pour commencer, vous devez d'abord imprimer tous les objets en 3D à l'aide des fichiers joints dans le NDM.

- **Etape 1 :** Connecter les barres oranges extrudées aux bouts des barres intrudées pour faire 4 supports (**Figure 2.1**).
- **Etape 2 :** Construire la boîte, gardant le haut ouvert pour maintenant.
- **Etape 3 :** Brancher les fils, corde et capteur de distance au Arduino comme ci-dessus (**Figure 2.2**)
- **Etape 4 :** Mettre l'Arduino et fils respectives dans la boîte, alignant aux trous dans la boîte. Fermer le couvercle de la boîte (**Figure 2.3**).
- **Etape 5 :** Insérer les 4 barres dans les 4 trous comme ci-dessus (**Figure 2.4**)
- **Etape 6 :** Ajouter un tube orange épais sur chaque barre (**Figure 2.5**)
- **Etape 7 :** Ajouter un ressort à chaque barre (**Figure 2.6**).
- **Etape 8 :** Déposer la troisième plaque au-dessus des ressorts (**Figure 2.7**).
- **Etape 9 :** Assurer d'avoir l'application Arduino IDE sur ton ordinateur.
- **Etape 10 :** Déposer la structure sur la plaque du milieu, puis mettre la dernière plaque qui reste au-dessus (**Figure 2.8**).
- **Etape 11 :** Connecter la corde bleue à ton ordinateur et ouvrir Arduino pour démarrer le code.

6.2 Sous-système 2 du produit : Les pièces d'assemblage

6.2.1 NDM

	Nom de l'item	Description	Unité de mesure	Quantité	Coût unitaire	Coût étendu	Lien
N°1	Bâtons ronds d'artisanat	100x5, pack de 50 pièces.	mm	1	\$10.99	\$10.99	https://a.co/d/8O4muh I
	Coût total avec taxes et livraison					\$12.74	

6.3 Sous-système 3 : Les pièces de jonction

6.3.1 NDM

	Nom de l'item	Description	Unité de mesure	Quantité	Coût unitaire	Coût étendu	Lien
N° 2	Pièces d'attache en PLA entre les pièces d'assemblage	13x7x5.3mm	mm	1	\$10.68 1	\$10.6810	https://cad.onshape.com/documents/6c072249b839f84
N° 3	Pièces de jonction en cube	15.2x15.2x15.2 mm	mm	1	\$10.98 1	\$10.981	https://cad.onshape.com/documents/ace04df6ec2d8Mode=0&uiState=6722c3e093a63e768065eb12
N° 4	Pièces de jonction en demi-sphère	diametre de 20	mm	1	\$10.37	\$10.37	https://cad.onshape.com/documents/ace04df6ec2d8Mode=0&uiState=6722c3e093a63e768065eb12
	Coût total					\$32.032	

6.3.2 Liste d'équipements

Nom de l'item	Description	Type	# du prototype	Source
Machine à	Pour imprimer les pièces	Matériel	1,3	MakerSpace

impression 3D				
Fils de PLA pour machine à impression	Servent à l'impression des pièces	Matériel	1,3	MakerSpace
Ciseaux	Pour couper les fils de PLA qui restent en excès après l'impression 3D	Matériel	1,3	MakerSpace

6.3.3 Instructions

- **Etape 1 :** Utiliser les fichiers Onshape inclus dans le NDM pour imprimer les différentes pièces.
- **Etape 2 :** Utiliser les ciseaux pour couper les fils en excès qui se retrouvent à l'intérieur de certaines des pièces.

6.4 Essais & validation

Résultats selon Prototype 1 (Figure 3.0) :

Prototype 1	Critère Fonctionnel	Valeur Mesurée	Valeur Ciblée	Observation/Commentaire
	Stabilité	= Non	= Oui	Insatisfait à la spécification cible
	Temps de Construction	= 12min30 s	= 15min	Satisfait à la spécification cible
	Poids supporté	= 7lbs	= 50lbs	Insatisfait à la spécification cible
	Stabilité des pièces connectées	= Non	= Oui	Insatisfait à la spécification cible
	Maniabilité	= Non	= Oui	Insatisfait à la spécification cible dû au matériau utilisé (pièces pas assez précises)

	Accessibilité	= Oui	= Oui	Insatisfait à la spécification cible
	Matériaux écologiques	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Flexibilité	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Interface facile d'utilisation	= Oui	= Oui	Insatisfait à la spécification cible dû au matériau utilisé (pièces pas assez précises)
	Critère Non-Fonctionnel			
	Esthétique	= 7/10	= 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	= Non	= Oui	Insatisfait à la spécification cible
	Simplicité des structures	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
	Contrainte			
	Coût des pièces d'assemblage	= 29.98\$CAD	= 10\$CAD	Insatisfait à la spécification cible
	Forme des pièces	= 8po et 12po	= 2 à 4po	Insatisfait à la spécification cible
	Dimensions de la structure créée	= 9po ³	= 6 à 8.5 po ³	Insatisfait à la spécification cible
	Poids	= 0.05 à 0.06lb	= 0.02 à 0.10lb	Satisfait à la spécification cible
	Quantité des pièces d'assemblage	= 90 pièces	= 150 à 180 pièces	Insatisfait à la spécification cible

	Matériaux écologiques	= Oui	= Oui	Satisfait à la spécification cible
--	-----------------------	-------	-------	------------------------------------

On a eu de difficulté à mettre les bâtons dans certaines faces des trous de pièces de jonction, causant aussi de manque en liberté de formes possibles à être créés. Pour tester la stabilité on a appliqué de la force dessus et analyser la flexibilité pendant la construction.

Selon Prototype 2 (Figure 3.1):

Tableau 2 : Résultats du test du prototype II

No essai	(1) Distance mesurée entre la plaque et le capteur de distance (en cm)	(2) Distance affichée entre la plaque et le capteur de distance (en cm)	Différence entre (1) et (2) (en cm)	Résultat conclusif (différence ≤ 0.5 cm)
----------	--	---	-------------------------------------	---

1	7.1	7	0.1	Oui
2	6.5	6	0.5	Oui
3	5.4	5	0.4	Oui
4	4.9	4	0.9	Non
5	3.9	3	0.9	Non

On a observé que le niveau de précision n'était pas réalisé en termes de valeurs de distance mesurées. D'après les résultats obtenus (Tableau 2), il est possible de constater que notre dispositif n'offre pas beaucoup de précision. En effet, il semble qu'il affiche, par exemple, 6 cm pour toutes les distances réelles se trouvant dans l'intervalle de [6.0 – 6.9]. Cela dit, il est intéressant de voir quelle différence cela apporte aux forces mesurées :

$F = K \cdot \Delta x$ Supposons ici que $K = 15 \text{ N/m}$

$\Rightarrow \Delta x = x_f - x_i$
et que $x_i = 10 \text{ cm}$

① Force de rappel quand $x_f = 6 \text{ cm}$
 \Rightarrow ressort compression
 $F = -15 \text{ N/m} \cdot (6 - 10)$
 $= 60 \text{ N}$

② Force de rappel quand $x_f = 6.9 \text{ cm}$
 $F = -15 \text{ N/m} \cdot (6.9 - 10)$
 $= 46.5 \text{ N}$

C'est évident qu'il y a une grande impacte dans les résultats des forces calculées, donc on a déduit qu'il fallait améliorer le code.

Selon Prototype 3 (Figure 3.2) :

$$F = k \times -\Delta x$$

Où F est égal à la force

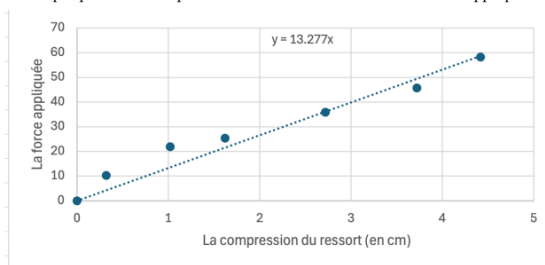
k est égal à la constante de ressort

Δx est égal à la compression du ressort

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

Masse (kg)	Distance (cm)	$(-\Delta x)(cm)$	Force (N)
0	16.52	0	0
1.043	16.2	0.32	10.23183
2.228	15.5	1.02	21.85668
2.585	14.9	1.62	25.35885
3.651	13.8	2.72	35.81631
4.657	12.8	3.72	45.68517
5.935	12.1	4.42	58.22235

Graphique 1 : La compression du ressort en fonction de la force appliquée



Avec les valeurs mesurées selon notre appareil de mesure, on a pu trouvé la constante de k pour nos ressorts et l'incorporer dans notre code (Tableau 2 et Graphique 1). Ensuite, on pourrait donc trouver la force appliquée en faisant de tests de poids différents, testant le niveau de précision (Tableau 3). Nous avons alors été capables de déterminer que la constante de ressort est égale à 13.77 N/m (la pente) dans le cadre de ce projet, ce qui nous a permis de modifier notre code pour obtenir des résultats plus précises.

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

On a également trouvé que notre code fonctionne avec notre appareil de mesure.

Tableau 4 : Résultats des tests et 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
	Critère Non-Fonctionnel			
	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
Contrainte			
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

Réfèrant au Tableau 4, les pièces d'assemblage ont réalisés leurs spécifications cibles pour la plupart, durable stable et de bon prix. Mais, le poids supporté et la quantité de pièces n'est toujours pas réalisé à ce point-ci.

7 Conclusions et recommandations pour les travaux futurs

Il y avait plusieurs leçons apprises reliées à la construction de chaque prototype. Commenant avec le premier prototype et les pièces d'assemblage des structures, si plus de calculs des dimensions seraient faites, gardant en tête la variété des types de structure créés, plus de liberté en construction serait possible. On a aussi appris qu'on devrait avoir une idée plus fixe sur les longueurs des bâtons en bois, pour fixer une valeur dans nos calculs. Le PLA de 0.8 mm était finalement le meilleur type car les pièces étaient beaucoup plus durables. Si on avait plus de temps, on aurait augmenté la précision en dimension pour les pièces de jonction afin d'avoir des structures plus stables et facile à construire.

Selon le deuxième prototype et l'appareil de mesure, on avait seulement le temps de faire une plaque comprise d'une barre et ressort et c'était trouver que la précision des valeurs mesurées selon le code n'était pas bien. Si on avait du temps pour faire l'appareil de mesure de taille réelle dans le deuxième prototype, on aurait eu beaucoup plus de temps à faire des petites améliorations au code et notre mécanisme physique avant le prochain prototype.

En concernant le troisième prototype complet physique, on a pu tester l'appareil de mesure et la stabilité des structures. À ce point-ci, on ne savait pas encore qu'il fallait avoir une plaque additionnelle et n'ont pas pu tester les structures dans l'appareil de mesure avec de la force appliquée. Mais, on a vérifié la durabilité des pièces d'assemblage et l'appareil de mesure. Si on avait demandé plus de conseils spécifiques du mécanisme plus tôt à notre TA et GP, on aurait pu savoir plus tôt que notre plan original de 8 ressorts ne fonctionnerait pas et qu'il fallait une autre plaque MDF. Si le MakerStore avait encore des écrans LCD, on aurait pu l'utiliser afin d'avoir de l'affichage des données plus claires. Avec le temps pressé, on n'avait aussi pas le temps de créer un document CAO des barres avec la bonne hauteur voulue. Plus de temps nous donnerait la capacité de trouver un système qui permettrait l'assemblage de trois petites barres en une barre de l'appareil de mesure.

Pour conclure, la planification plus en avance et plus d'attention aux petits détails seront nécessaires pour améliorer notre travail. Avec plus de temps fourni, on aurait pu faire plusieurs modifications en termes de niveau de précision des dimensions des pièces d'assemblages et jonctions et aussi en termes des valeurs affichées du code avec Arduino. L'augmentation en hauteur des barres de l'appareil de mesure offrirait plus de liberté en structures créées.

Néanmoins, on a réalisé notre but, de construire un appareil de mesure et fabriquer des pièces d'assemblages écologiques pour les élèves dans l'atelier Forces et Structure de haute qualité.

8 Bibliographie

Laboratoire 2 et 4 (16 septembre et 7 octobre 2024), GNG1503

APPENDICES

9 APPENDICE I: Fichiers de conception

Les livrables B, C, D, E, F, G, H, K nous ont permis de suivre une évolution de notre projet en nous servant des différentes étapes de la pensée conceptuelle afin d'en arriver à notre produit fini. Nous nous sommes servis d'un code dans l'ide Arduino

Table 2. Documents référencés

Nom du document	Emplacement du document et/ou URL	Date d'émission
Livable B	LivableB.pdf	29 septembre 2024
Livable C	LivableC.pdf	06 octobre 2024
Livable D	LivableD.pdf	13 octobre 2024
Livable E	LivableE.pdf	27 octobre 2024
Livable F	LivableF.pdf	03 Novembre 2024
Livable G	Livable G.pdf	10 novembre 2024
Livable H	Livable H.pdf	24 Novembre 2024

10 APPENDICE II: Autres Appendices

Code Arduino:

```
#include <NewPing.h>

#define TRIGGER_PIN 2
#define ECHO_PIN 3
#define MAX_DISTANCE 400
#define K 25.58 // Constante de ressort
#define X 8.26 // Position initiale du ressort
#define HAUTEUR 3.9 // hauteur des tubes

NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE);

unsigned long previousMillis = 0; // Dernière fois qu'une mesure a été prise
const unsigned long interval = 3000; // Intervalle de 3 secondes
float totalDistance = 0; // Somme de toutes les distances
int readingsCount = 0; // Nombre de lectures en 3 secondes

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Temps actuel
  unsigned long currentMillis = millis();
  // Prendre plusieurs lectures dans l'intervalle
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    unsigned int uS = sonar.ping();
    float distance_cm = uS / 57.0; // Convertir les microsecondes en cm
    totalDistance += distance_cm;
    readingsCount++;
    // Petit délai pour éviter les pings excessifs
    delay(30);
  }
  // Vérifier si 3 secondes se sont écoulées
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;
    // Calculer et imprimer la moyenne
    if (readingsCount > 0) {
      float averageDistance = totalDistance / readingsCount;
      double result = (((averageDistance - HAUTEUR) - X) * -K);
      // Imprimer le résultat avec une vérification pour zéro force
      if (averageDistance >= (X+HAUTEUR)) {
        Serial.println("0.00N"); // Imprimer 0N si aucune force n'est appliquée
      } else {
        Serial.print(result, 2); // Imprimer le résultat avec 2 décimales
      }
    }
  }
}
```

```
Serial.println("N"); // Afficher le résultat en Newtons
}
}
// Réinitialiser ces variables
totalDistance = 0;
readingsCount = 0;
}
}
```