



GNG1503

**Manuel d'utilisation et de produit pour le projet de conception**

**BridgeBuild**

Soumis par:

LGC – FA11

Adem Ben Khalifa, 300444228

Aurélie Dumas, 300352864

Tahani Lalani, 300436938

Victor Patrick Tataru, 300446515

3 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 .....	5
2.2 Mises en garde & avertissements.....	5
3 Pour commencer .....	6
3.1 Considérations pour la configuration.....	7
3.2 Considérations pour l'accès des utilisateurs .....	9
3.3 Accéder/installation du système .....	10
3.4 Organisation du système & navigation.....	10
3.5 Quitter le système .....	10
4 Utiliser le système.....	11
4.1 Mesurer une force .....	11
4.2 Changer de mode .....	11
4.3 Ajuster la plage de valeurs pour les notes.....	12
4.4 Réinitialiser le total .....	13
4.5 Fabriquer une structure .....	13

5	Dépannage & assistance .....	14
	Capteur de force .....	14
	Écran LCD .....	14
	Stabilité physique.....	14
	Alimentation électrique.....	14
	Panne complète .....	14
5.1	Considérations spéciales .....	15
5.2	Entretien.....	15
	1. Inspection visuelle .....	15
	2. Calibrage et test du capteur.....	15
	3. Maintenance de l'électronique.....	16
	4. Structure de l'atelier.....	16
	5. Nettoyage .....	16
	6. Tests périodiques .....	16
	7. Consignes de manipulation .....	16
5.4	Assistance .....	16
6	Documentation du produit .....	17
	6.1.1 NDM (Nomenclature des Matériaux) .....	20
	6.1.3 Instructions.....	21
6.2	Essais & validation .....	26
7	Conclusions et recommandations pour les travaux futurs .....	28
8	Bibliographie.....	29

APPENDICES .....	30
9 APPENDICE I: Fichiers de conception.....	30
10 APPENDICE II: Autres Appendices .....	31

## Liste de tableaux

---

Table 1. Acronymes .....	vi
Table 2. Glossaire .....	vi
Table 3. Documents référencés.....	30

.

## Liste d'acronymes et glossaire

---

**Table 1. Acronymes**

Acronyme	Définition
ACL	À cristaux liquides
AFS	Atelier de forces et structures
AMF	Appareil de mesure de la force
CAO	Conception assistée par ordinateur
CDF	Capteur de force
EDI	Environnement de développement intégré

**Table 2. Glossaire**

Terme	Acronyme	Définition
Armatures	S.O.	Éléments qui sont responsables de la longueur, hauteur et largeur des structures
Conception assistée par ordinateur	CAO	Outil informatique pour la conception de modèles
Écran à cristaux liquides	Écran ACL	Type d'écran qui utilise le reflet de la lumière sur des cristaux liquides pour afficher des données.
Environnement de développement intégré	EDI	Outil logiciel regroupant des fonctionnalités pour la programmation (écriture de code, compilation et débogage)
Liaisons	S.O.	Éléments qui relient les armatures de la structure ensemble

# 1 Introduction

Le BridgeBuild a été conçu dans le contexte d'un projet d'ingénierie de première année à l'Université d'Ottawa. Au cours de ce même projet, notre équipe a formulé de nombreuses hypothèses, telles que le fait que la forme la plus solide est le triangle, que les éléments de notre structure doivent être suffisamment solide pour supporter une charge d'environ 1 à 2 kg, mais suffisamment fragile pour que la structure s'effondre sous un poids trop grand. Nous pensions aussi que nos éléments doivent être sécuritaires, puisqu'ils sont destinés à des enfants; que la structure la plus facile à construire qui remplirait tous les critères de réussite de l'atelier serait un pont, car il faudrait pouvoir le déposer entre deux bureaux; que certains concepts sont destinés à des enfants en plus grand âge et enfin qu'il doit y avoir un nombre suffisant de pièces dans un kit du produit pour garantir un bon travail d'équipe.

Ce manuel d'utilisation et de produit (MUP) fournit les informations nécessaires aux élèves de la 3<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> année faisant partie de l'atelier des Forces et Structures pour utiliser efficacement le BridgeBuild et pour la documentation du prototype. Il est divisé en plusieurs parties : d'abord, le document présentera un aperçu du produit. Ensuite, il fournira une présentation générale du système de l'installation à la sortie et expliquera l'utilisation de celui-ci. Enfin, ce MUP montrera les démarches à prendre en cas de problèmes et les étapes de maintenance du BridgeBuild.

Ce document est essentiel l'utilisation d'un kit de Bridgebuild. Par conséquent, l'omission de la lecture de ce manuel présente de nombreux risques pour les utilisateurs, puisqu'un problème majeur concernant l'AMF dû à une mauvaise utilisation de celui-ci et de l'omission des démarches à prendre en cas de bris peut survenir. L'omission de la lecture de ce manuel d'utilisation mène donc souvent à la dégradation du matériel et à des risques de blessures importantes.

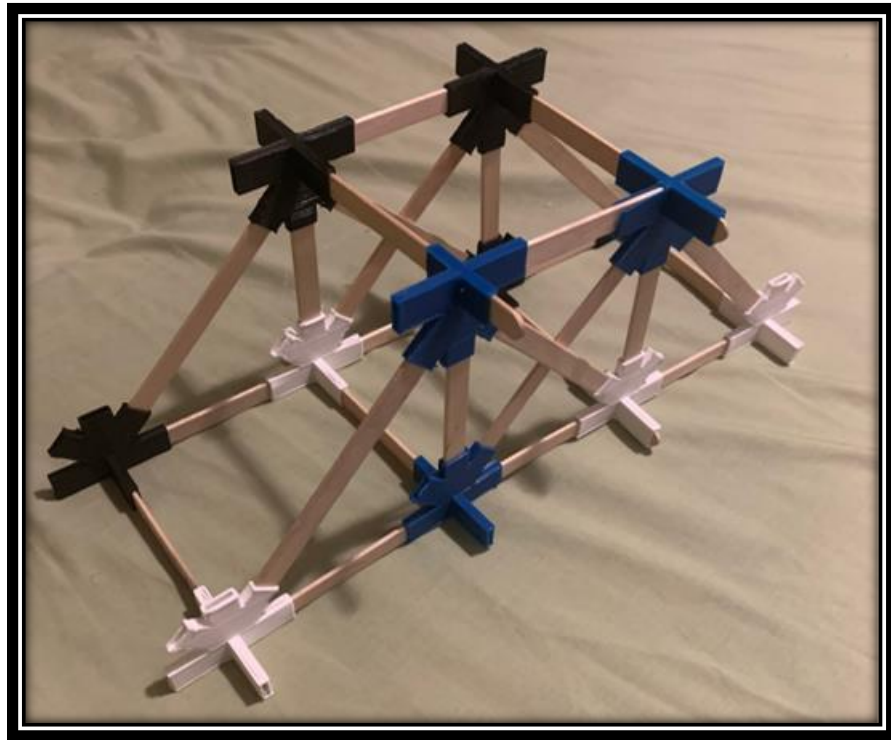


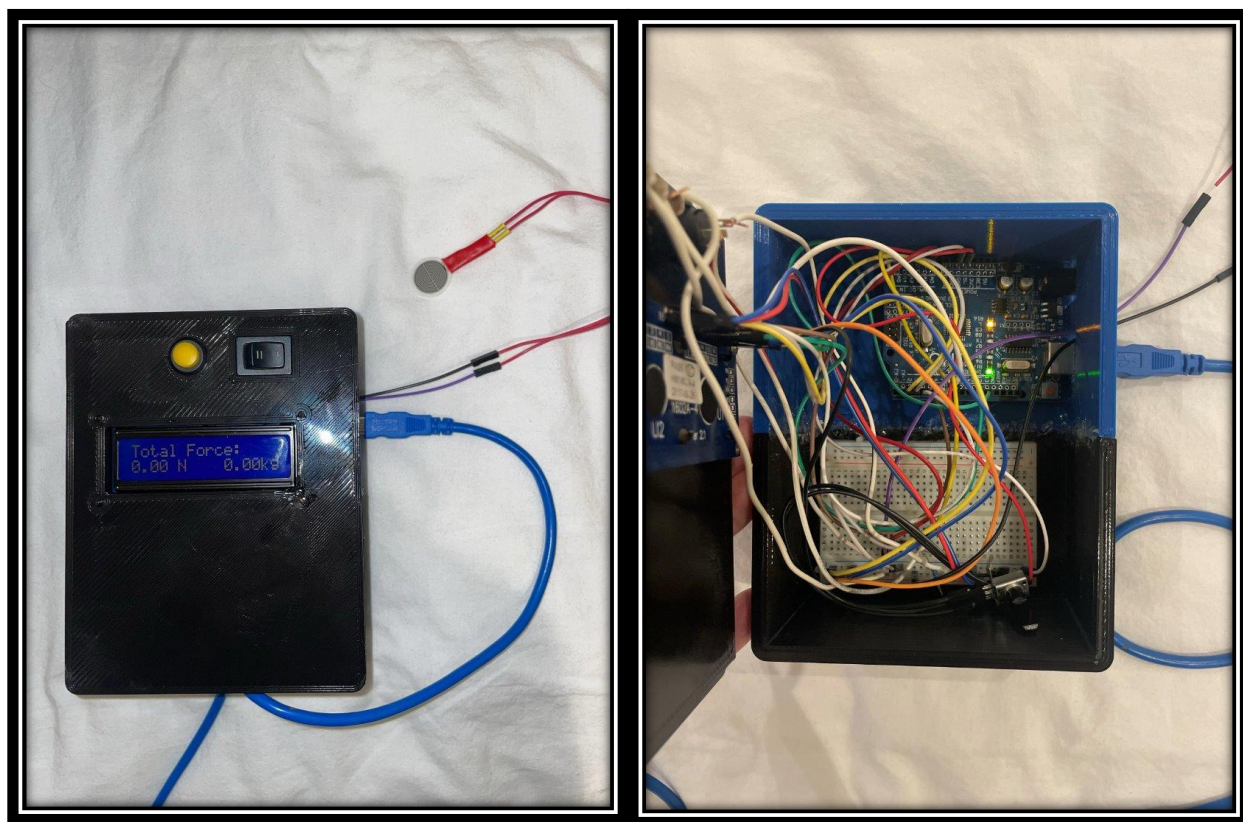
## 2 Aperçu

Le problème de conception est le suivant : Le programme de sensibilisation en génie de l'Université d'Ottawa a besoin d'une nouvelle façon simple de diriger un atelier éducatif sécuritaire portant sur le monde des forces destiné aux élèves de la 3<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> année. Cet atelier doit pouvoir s'adapter aux besoins de tous les enfants et doit comprendre des pièces durables, réutilisables et ayant un coût abordable.

Cet atelier est primordial, puisqu'en concevant des structures comme des ponts, les élèves comprennent des concepts comme la tension et la compression, tout en développant des compétences en résolution de problèmes et en collaboration. Ce projet les prépare à aborder des défis techniques et à renforcer leur compréhension des domaines STEM. Les élèves ont donc besoin d'être capables d'apprendre les concepts de force et de structure de manière théorique pour ensuite les mettre en pratique en construisant des structures.

Ce qui différencie BridgeBuild des autres produits sur le marché est l'utilisation de matériaux simples et peu coûteux, comme les bâtons de popsicle et les liaisons en 3D, permettant plus de liberté de création et d'imagination. L'intégration d'un circuit Arduino avec un capteur de force et un écran LCD permet d'obtenir des mesures très fiables et permet de s'adapter à n'importe quelle structure.





En ce qui concerne les caractéristiques principales de chaque sous-partie pour la construction (bâtonnets de Popsicle et liaisons en 3D) sont très simples. Pour les bâtons de popsicle, qui représentent les armatures des structures, ceux-ci sont présents sous 2 types et 2 longueurs différentes : pour le premier type de bâton, qui est utilisé pour les armatures diagonales entre les liaisons, ont une longueur de 11,4 cm et une largeur de 1 cm. Pour le second type de bâton, qui est utilisé pour les armatures horizontales et verticales, celui-ci a une longueur de 8 cm et une largeur de 1 cm. Les différentes longueurs de bâtons ont préalablement été calculées grâce à la loi de Pythagore.

Pour les liaisons en 3D, celles-ci ont 5 trous pouvant donc accueillir jusqu'à 5 bâtons, et ce, dans les 3 dimensions de l'espace, ce qui offre une grande variété de formes et de structures possibles à construire.

En ce qui concerne l'AMF, celui-ci est programmé pour pouvoir alterner 2 différents modes : le premier mode, qui est destiné aux élèves en bas âge, affiche une note de A à F selon la charge déposée sur la structure; le second mode, qui est destiné aux élèves plus âgés, affiche directement la charge en kg ou en N sur l'écran ACL. Pour alterner entre les 2 modes, il suffit de bouger

l'interrupteur sur la position 1 ou 2, respectivement aux mode 1 et 2. Pour avoir accès aux fils qui connectent la plaque Arduino à l'écran ACL et au capteur de force en tant qu'administrateur, il suffit d'ouvrir le couvercle de la boîte contenant l'AMF et de retirer délicatement le circuit de l'AMF de celle-ci. Il est dorénavant possible d'avoir accès à la configuration du circuit de l'AMF. Pour modifier la fonction de la plaque Arduino, il suffit de brancher celle-ci à un ordinateur contenant le EDI Arduino et de modifier le code source du Arduino.

## **2.1 Conventions**

Ce document ne contient aucune convention d'écriture particulière.

## **2.2 Mises en garde & avertissements**

Avant d'utiliser un kit BridgeBuild, il est important de noter que ce prototype est conçu pour des élèves de la 3<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> année, soit des enfants âgés d'au moins 8 ans. En raison de la présence de petites pièces susceptibles d'être avalées ou inhalées, l'utilisation du kit par un enfant de moins de 8 ans doit impérativement se faire sous la supervision d'une personne responsable âgée d'au moins 16 ans.

### 3 Pour commencer

L'AFS regroupe trois sous-systèmes interconnectés : armatures, liaisons et l'AMF, offrant aux élèves de la 3e à la 8e année une activité interactive sur les forces et structures. Les armatures en bâtonnets de popsicle et les liaisons imprimées en 3D permettent de construire des structures variées et stables, tandis que l'AMF mesure et affiche la force appliquée en Newtons, kilogrammes ou sous forme de note (A à F). Ces sous-systèmes fonctionnent ensemble pour transformer l'apprentissage théorique en une activité concrète et engageante, où les élèves peuvent voir leurs idées prendre forme et observer l'effet des forces sur leurs objets du quotidien.

Durant l'assemblage de l'AFS, les bâtonnets doivent être emboîtés dans les liaisons pour former une structure (voir l'appendice pour les fichiers CAO). Quant à l'AMF, il arrive pré assemblé et le code requis est fourni. Pour l'utiliser, il suffit donc d'ouvrir le code dans l'EDI Arduino, de connecter l'appareil au port USB de son ordinateur et d'envoyer les instructions à l'appareil.



Figure A : Premier sous-système : Armature

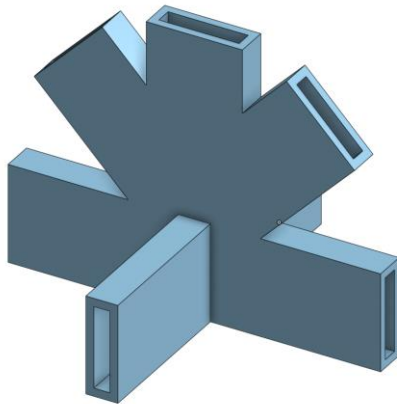


Figure B : Second sous-système : Liaison



Figure C : Troisième sous-système : Appareil de mesure



### 3.1 Considérations pour la configuration

L'atelier se compose de trois systèmes principaux : armatures en bâtonnets de popsicle, liaisons imprimées en 3D et l'AMF.

1. Les armatures s'emboîtent dans les liaisons pour former des structures
2. L'AMF est composé de plusieurs éléments qui fonctionnent ensemble :
  - a. Arduino : Contrôle le système, calcule et affiche les mesures.
  - b. Plaque de prototypage : Connecte tous les éléments du circuit sans nécessiter de soudure, ce qui permet d'effectuer des changements et/ou réparations facilement.
  - c. Capteur de force : Capte la force émise par un objet sur la plateforme.
  - d. Plateforme : Concentre la force de l'objet sur le capteur pour une lecture précise.
  - e. Écran ACL : Affiche les données recueillies par le capteur de force en Newton et en kilogrammes (masse) ou en note (A, B, C, etc.).
  - f. Bouton poussoir : Ajoute une mesure au total ou réinitialise le total après 3 secondes.
  - g. Interrupteur à deux modes : Permet de basculer entre affichage en Newtons/kilogrammes et notes.

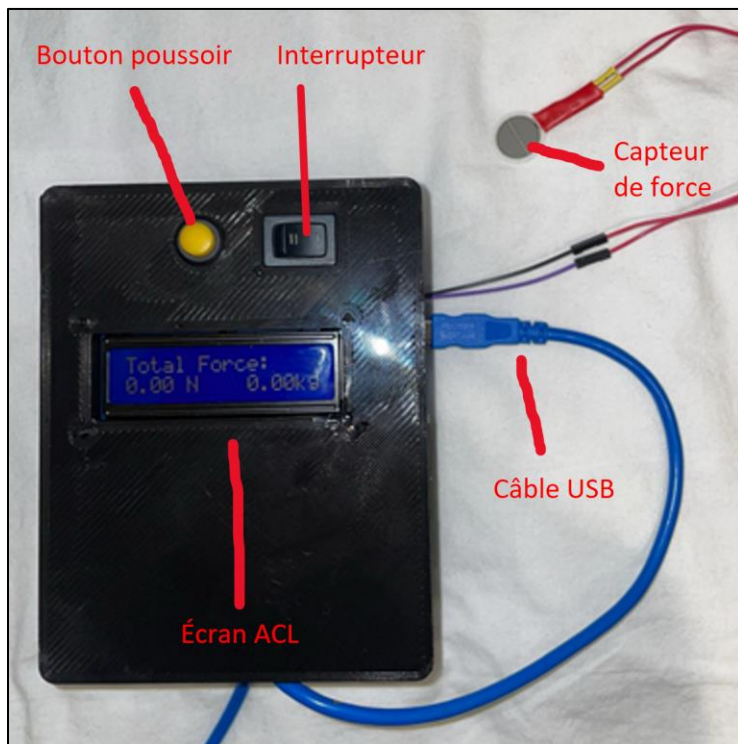


Figure D : Diagramme annoté de l'AMF

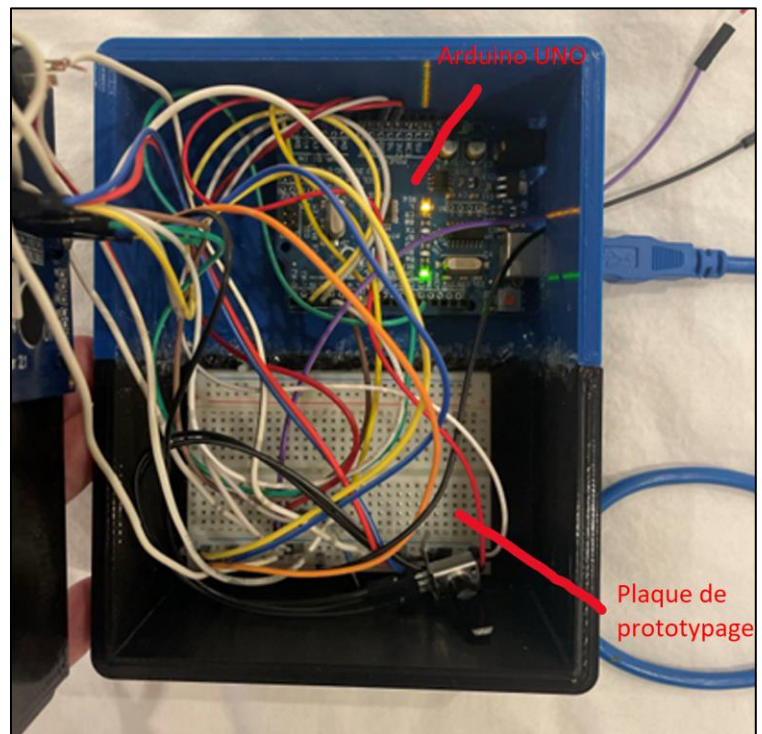


Figure E : Diagramme annoté de l'intérieur de l'AMF

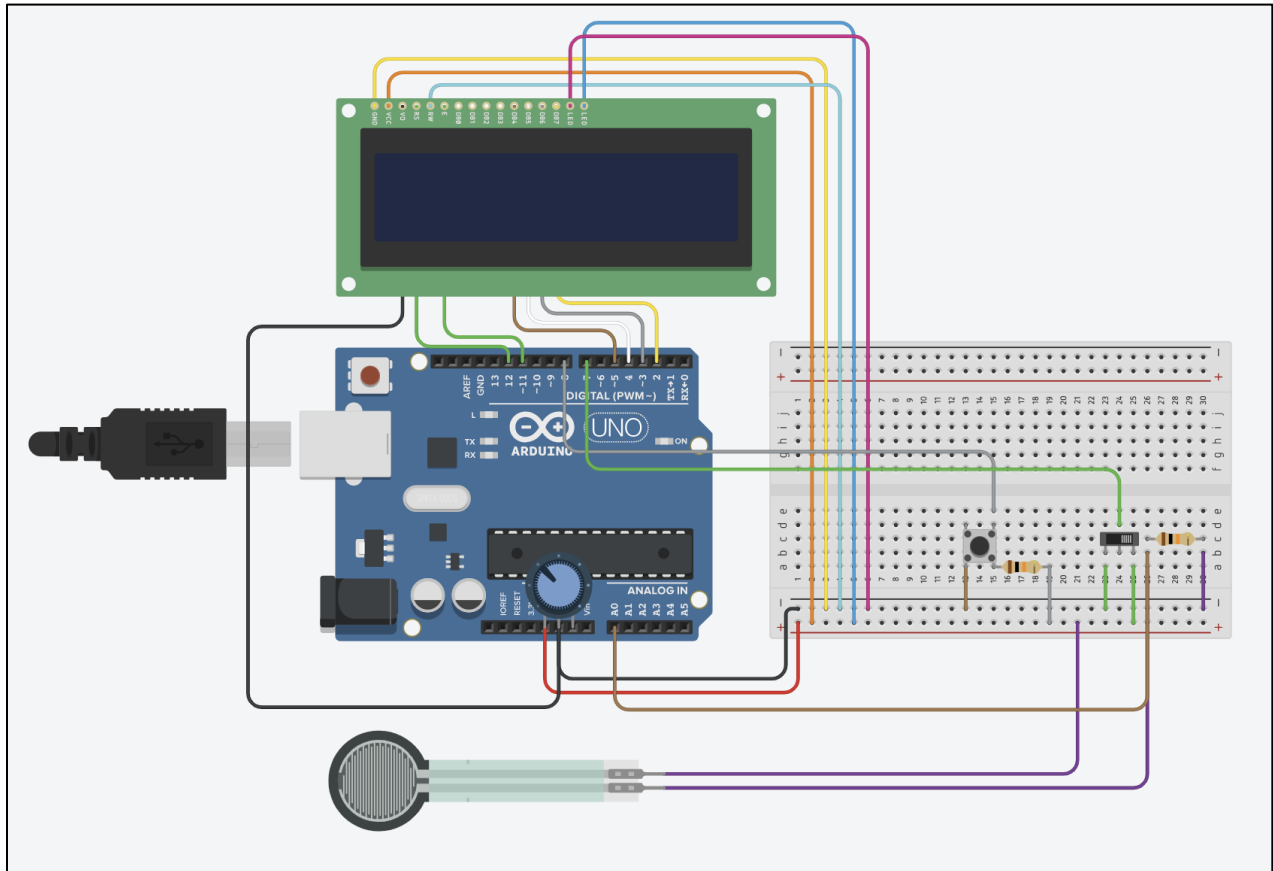


Figure F : Diagramme du circuit

La composante logicielle de l'AFS est un programme en langage C++ qui est envoyé et exécuté sur une carte Arduino et qui adresse toutes les fonctions de l'AMF. Entre autres, il reçoit les données du capteur de force, les transforme et les renvoie à l'écran qui les affiche sous une forme que les usagers peuvent comprendre. Voici les différentes parties du code (voir l'Appendice II) :

1. Configuration initiale :
  - a. Le programme utilise la bibliothèque « LiquidCrystal.h » pour assurer un bon fonctionnement avec l'écran ACL
  - b. Définit les pins et configure les composants (écran, capteur, bouton, interrupteur).
  - c. Affiche un message d'introduction au démarrage.
2. Fonctions générales :
  - a. Mesure de la force :
    - i. Convertit les données du capteur en Newtons et kilogrammes ou notes.
  - b. Incréméntation du total :

- i. Ajoute la mesure au total ou réinitialise après un appui prolongé
  - c. Changement de mode : l'interrupteur change d'un mode d'affichage à l'autre
    - i. Mode 1 : la force est affichée sous forme de Newtons et kilogrammes
    - ii. Mode 2 : la force est convertit en une note, puis est affichées sous cette forme
  - d. Affichage écran ACL :
    - i. La fonction « displayForce » (ligne 63) est responsable de mettre à jour l'affichage après chaque appui du bouton et lorsque le mode de l'interrupteur est changé
    - ii. À la sortie de la fonction, la force totale est affichée en Newtons, avec la masse calculée, ou en lettre attribuée en fonction de plages de valeurs
    - iii. L'utilisateur de l'appareil peut ainsi choisir ses propres plages de valeurs en fonction de la performance des structures de la classe
3. Entrées :
- a. Capteur de force : détecte la force émise par l'objet et l'envoie au programme
  - b. Bouton poussoir : détecte quand le bouton est appuyé et ajoute au total s'il est appuyé pendant 2 secondes ou moins, ou réinitialise le total s'il est appuyé pendant plus de 3 secondes
  - c. Interrupteur : détecte le mode qui est choisi et bascule d'un mode à l'autre sans que ça n'affecte la valeur mesurée ou le total

## 3.2 Considérations pour l'accès des utilisateurs

Ce système a été conçu pour répondre aux besoins de trois groupes principaux d'utilisateurs : les instructeurs du programme Maker Mobile, les professeurs, et les étudiants de la 3<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> année.

- A. Instructeurs : responsables de configurer et superviser le système lors des ateliers
  - a. Ils ont accès à toutes les fonctions de l'atelier et disposent d'un manuel guide pour simplifier leurs tâches, mais devraient tout de même être familiers avec la manipulation des appareils électroniques
- B. Professeurs : supervisent l'activité et peuvent parfois interagir avec certaines fonctionnalités de L'AMF
  - a. Ils ont accès aux instructions de l'atelier mais n'ont peut-être pas d'expérience avec les composantes électroniques de L'AMF, c'est pourquoi notre interface est très simple et facile à comprendre
- C. Étudiants : interagissent avec toutes les composantes
  - a. Ont des connaissances limitées mais doivent être capable de comprendre les affichages. Le système utilise un langage adapté et limite l'accès aux éléments fragiles. L'usage de l'AMF se fait sous supervisions pour assurer la sécurité.



### **3.3 Accéder/installation du système**

Préparation de l'AMF :

1. Déballez tous les composants et vérifiez leur état
2. Allumez le système en branchant l'Arduino à un ordinateur via un câble USB
3. Ouvrez le programme « CodeAppareil » dans l'EDI Arduino
4. Appuyez sur la flèche dans le coin supérieur gauche pour débiter le programme
5. Vérifiez que l'écran ACL s'allume et affiche « Appuyez sur le bouton »

Construction de structure :

1. Déballez les liaisons et structures et vérifiez leur état
2. Répartir les armatures et liaisons dans les différents groupes (30 bâtonnets et 12 liaisons par groupe de 4 à 5 élèves)

### **3.4 Organisation du système & navigation**

Composants principaux :

- Capteur de force (entrée principale)
- Écran LCD (sortie principale)
- Arduino (traitement de données)

Fonctionnalités clés :

- Mesure de la force : Le capteur de force enregistre la valeur de la force émise par un objet
- Affichage des données : Affichage de la force totale mesurée par le capteur en Newtons et kilogrammes ou note
- Modes d'opération : L'interrupteur permet de changer entre le mode 1 (force en Newtons et kilogrammes) et le mode 2 (force en note A-F)

### **3.5 Quitter le système**

1. Débrancher l'Arduino de l'ordinateur.
2. Remettre l'AMF dans sa boîte en faisant attention aux composantes électroniques.
3. Démontez les structures.
4. Rangez les éléments avec soin.

## 4 Utiliser le système

Les sous-sections suivantes fournissent des instructions détaillées, étape par étape, sur la façon d'utiliser les diverses fonctions ou caractéristiques du BridgeBuild.

### 4.1 Mesurer une force

- I. Placez la charge sur la plateforme.
- II. Appuyez sur le bouton pour enregistrer la force.
- III. Observez les données affichées sur l'écran.
- IV. Répétez les étapes pour ajouter une seconde force au total.

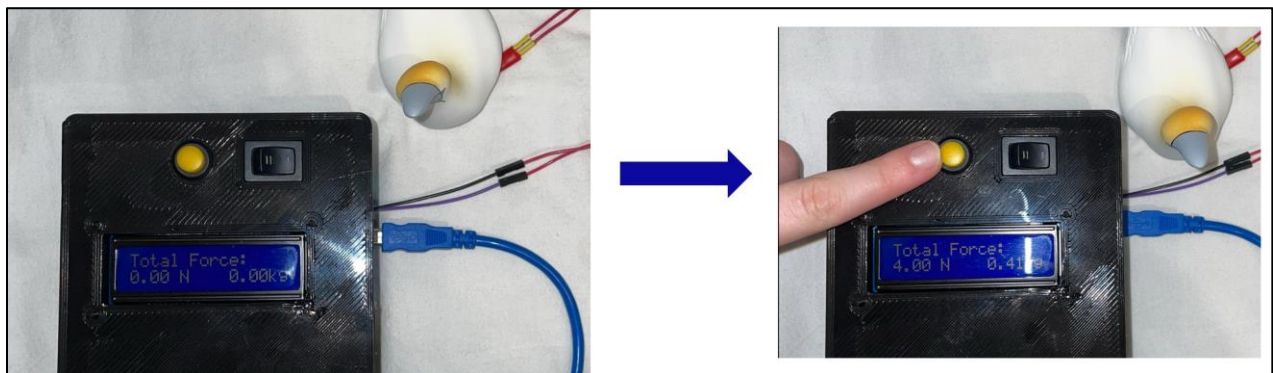


Figure G : Mesure d'une force

### 4.2 Changer de mode

- I. Appuyez sur l'interrupteur pour basculer d'un mode à l'autre
  - a. Mode 1 : Affichage de la force en Newtons et kilogrammes
  - b. Mode 2 : Affichage de la force en note (A-F)
- II. Observez les données affichées selon le mode



Figure H : Mode 1



Figure I : Mode 2

### 4.3 Ajuster la plage de valeurs pour les notes

- I. Accédez au code du programme de l'AMF.
- II. Changez le « 2.0 » à la ligne 79 pour la valeur minimale prévue (la note F)
- III. Changez les valeurs « 4.0 », « 6.0 » et « 8.0 » aux lignes 80, 81 et 82 pour des valeurs réalistes qui peuvent être atteintes
- IV. Appuyez sur la flèche dans le coin supérieur gauche pour lancer le programme modifié

N.B : Les plages ne doivent pas se chevaucher pour éviter des erreurs d'affichage

```

78      char note;
79      if (forceTotale < 2.0) note = 'F';
80      else if (forceTotale < 4.0) note = 'D';
81      else if (forceTotale < 6.0) note = 'C';
82      else if (forceTotale < 8.0) note = 'B';
83      else note = 'A';
84

```

Figure J : Ajustez la plage de valeurs pour les notes

#### 4.4 Réinitialiser le total

- I. Maintenez le bouton appuyé pendant au moins 3 secondes
- II. Attendez que l'écran affiche la force « 0 » ou la note « F ».



Figure K : Réinitialiser le total

#### 4.5 Fabriquer une structure

- I. Insérez le bout d'un bâtonnet dans le trou d'une liaison
- II. Continuez à emboîter jusqu'à ce que des formes soient créées
- III. Utilisez les trous sur les trois axes pour former des structures

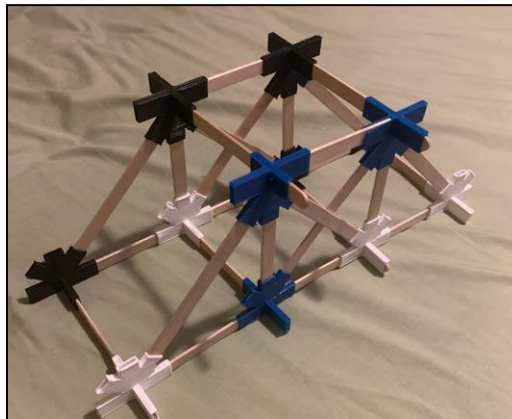


Figure L : Exemple de structure

## 5 Dépannage & assistance

### Capteur de force

- **Problèmes** : Mesures incorrectes ou absence de données.
- **Diagnostic** : Vérifiez les connexions et calibrez avec un poids connu.
- **Correction** : Reconnectez les fils, recalibrez via Arduino, ou remplacez le capteur si nécessaire.

### Écran LCD

- **Problèmes** : Affichage vide ou incohérent.
- **Diagnostic** : Vérifiez les connexions et retéléversez le programme Arduino.
- **Correction** : Rebranchez ou testez l'écran avec un croquis Arduino simple.

### Stabilité physique

- **Problèmes** : Structure ou boîtier instable.
- **Diagnostic** : Recherchez des pièces fissurées ou desserrées.
- **Correction** : Remplacez les pièces endommagées ou renforcez avec adhésif/vis.

### Alimentation électrique

- **Problèmes** : Le système ne s'allume pas ou s'éteint.
- **Diagnostic** : Vérifiez les piles et les connexions d'alimentation.
- **Correction** : Vérifiez le port d'alimentation.

### Panne complète

- **Problèmes** : Le système entier ne fonctionne pas.
- **Diagnostic** : Vérifier l'écran ACL, le bouton poussoir et l'interrupteur.
- **Correction** : 1) Débranchez et rebranchez l'alimentation.  
2) Vérifiez toutes les connexions.  
3) Testez les composants séparément.

## 5.1 Considérations spéciales

- **Manutention des composants sensibles :** Manipulez le capteur de force et les câbles avec soin pour éviter des dommages supplémentaires. Évitez de tirer sur les fils.
- **Utilisation des outils :** Si des corrections nécessitent des outils (tournevis, multimètre, etc.), assurez-vous que les utilisateurs savent comment les utiliser correctement et en toute sécurité.
- **Conditions environnementales :** Travaillez dans un environnement propre et sec pour éviter les courts-circuits ou les interférences dues à la poussière ou à l'humidité.
- **Alimentation sécurisée :** Déconnectez toujours le système de l'alimentation avant d'effectuer des réparations pour éviter les chocs électriques ou d'endommager l'électronique.
- **Logiciel et documentation :** Assurez-vous d'utiliser la version correcte du programme Arduino et conservez une copie de sauvegarde du code.
- **Formation utilisateur :** Fournissez des instructions simples aux utilisateurs pour éviter les mauvaises manipulations qui pourraient provoquer des erreurs.

## 5.2 Entretien

### 1. Inspection visuelle

- **Structures et connecteurs :** Vérifiez les bâtonnets de popsicle pour détecter les fissures, les déformations ou les signes d'usure. Assurez-vous que les connecteurs 3D imprimés sont intacts et n'ont pas de zones fragiles ou endommagées.
- **Capteur de force :** Recherchez des signes visibles de dommages physiques, comme des câbles effilochés ou des connecteurs desserrés.

### 2. Calibrage et test du capteur

- **Calibration régulière :** Vérifiez que le capteur de force donne des mesures précises. Utilisez un poids étalon pour confirmer que les valeurs affichées sur l'écran LCD sont correctes.
- **Test de sensibilité :** Assurez-vous que le capteur répond à des charges progressivement appliquées et qu'il retourne à zéro après déchargement.

### 3. Maintenance de l'électronique

- **Vérification des connexions** : Inspectez les fils et les soudures pour repérer les connexions desserrées ou corrodées.
- **Alimentation** : Testez l'alimentation de la carte Arduino pour éviter les coupures pendant l'utilisation.

### 4. Structure de l'atelier

- **Stabilité du boîtier** : Vérifiez que le boîtier qui protège l'électronique est bien fixé et qu'il n'y a pas de jeu qui pourrait compromettre la sécurité.
- **Accessibilité des composants** : Assurez-vous que le capteur, l'interface Arduino et l'écran ACL sont accessibles sans effort, pour un usage fluide.

### 5. Nettoyage

- Nettoyez régulièrement les connecteurs et les surfaces pour éviter l'accumulation de poussière ou de résidus qui pourraient affecter la précision du capteur ou l'adhérence des connecteurs.

### 6. Tests périodiques

- Réalisez des tests complets du prototype dans des conditions simulées pour vérifier que toutes les fonctionnalités (mesure, affichage, stabilité) fonctionnent correctement.

### 7. Consignes de manipulation

- Éduquez les utilisateurs (élèves et enseignants) sur la manipulation correcte pour minimiser les risques de mauvaise utilisation ou d'usure prématurée.

## 5.4 Assistance

- **Responsable principal** : Aurélie Dumas, [aduma069@uottawa.ca](mailto:aduma069@uottawa.ca)
- **Responsable secondaire** : Adem Ben Khalifa, [abenk033@uottawa.ca](mailto:abenk033@uottawa.ca)

(Comment signaler un problème)

- **Documentez le problème :** Décrivez les symptômes, étapes pour reproduire, et joignez des photos si possibles.
- **Envoyez un courriel :** Contactez le support avec l'objet "**Problème système - [Description courte]**".
- **Attendez une réponse :** Les urgences sont traitées sous **24h**, les autres sous **48h**.

#### **(Incidents de sécurité)**

- Déconnectez immédiatement le système en cas de danger (court-circuit, dommages critiques).
- Informez les responsables et les autres utilisateurs.

## **6 Documentation du produit**

### **6.1. Sous-systèmes mécaniques, électriques et logiciels**

#### **Sous-système mécanique:**

Nos structures de pont ont été construites à l'aide de bâtons de popsicle reliés par des connecteurs conçus avec précision et imprimés en 3D. Ces liaisons ont été soigneusement modélisées pour s'adapter parfaitement aux bâtons de popsicle sans être trop serrés ou trop lâches. Un ajustement approprié garantit que les connecteurs maintiennent solidement les bâtons pendant la construction tout en permettant à la structure de se briser à des seuils de charge réalistes pendant les tests, soulignant ainsi la valeur éducative de l'analyse des défaillances.

- **Faisabilité matérielle:**
  - Les bâtons de popsicle ont été choisis pour leur faible coût, leur disponibilité et leur facilité de manipulation par les enfants. Ce sont des matériaux familiers dans les projets scolaires, ce qui en fait un choix accessible et intuitif.
  - Les connecteurs imprimés en 3D ont été fabriqués à partir de PLA, un matériau durable et économique. Ils sont légers, solides, réutilisables et adaptés aux enfants.
- **Défis relevés :**
  - **Ajustement du connecteur:** Nous avons mesuré la largeur et la pointe des bâtons de popsicle pour concevoir des connecteurs dont les dimensions garantissent un bon ajustement. Un ajustement lâche compromettrait la stabilité de la structure, tandis qu'un ajustement trop serré pourrait empêcher une défaillance structurelle lors des tests de charge.

#### **Améliorations pour le sous-système mécanique:**



- **Matériaux alternatifs :** Tester des matériaux biosourcés pour les connecteurs, tels que des bioplastiques ou des résines, afin de rendre le produit encore plus durable.
- Bien que les connecteurs imprimés en 3D soient efficaces et relativement peu coûteux, nous avons réalisé que le boîtier imprimé en 3D abritant la carte Arduino ajoutait des coûts inutiles. Les futures itérations pourraient utiliser une boîte en bois ou en acrylique découpée au laser, qui remplirait le même objectif à une fraction du coût.

### **Sous-système électrique:**

Le sous-système électrique se compose d'une carte Arduino intégrée à un capteur de force pour mesurer le poids que chaque pont peut supporter. Un boîtier imprimé en 3D abrite l'Arduino et comprend un écran permettant d'afficher les mesures de force en temps réel.

- **Configuration de la mesure de force:**
  - Le capteur est monté sur une plate-forme conçue pour garantir une répartition uniforme de la charge. Si la force n'est pas entièrement appliquée au capteur, les lectures pourraient être inexactes. Cette considération de conception était essentielle pour garantir des mesures fiables.
- **Matériels:**
  - **Capteur de force :** Détecte le poids appliqué au pont.
  - **Carte Arduino :** Traite les données du capteur et pilote l'écran d'affichage.
  - **Boîte imprimée en 3D :** Protège l'électronique et donne un aspect poli.

### **Améliorations pour le sous-système électrique:**

- **Matériaux de la boîte:** Remplacer la boîte imprimée en 3D par une alternative en bois ou en acrylique découpée au laser pour réduire les coûts de production.
- **Évolution technologique:** Ajouter des options pour une interface Bluetooth ou Wi-Fi permettant de transmettre les données à un ordinateur ou un smartphone pour une analyse avancée en temps réel.

### **Sous-système logiciel:**

La carte Arduino est programmée pour lire les données du capteur de force et les afficher à l'écran. Le code comprend des fonctionnalités pour la sélection du mode et l'étalonnage.

### **Améliorations pour le sous-système logiciel:**

- **Journalisation des données:** Ajouter une fonctionnalité pour enregistrer les données des tests, permettant aux élèves de suivre et de comparer les performances de différents ponts.

- **Visualisation des données:** Intégrer des graphiques en temps réel pour que les élèves puissent visualiser la force appliquée de manière interactive.
- **Personnalisation:** Permettre aux enseignants d'ajuster les paramètres du logiciel en fonction du niveau d'apprentissage des élèves ou des objectifs pédagogiques.

### 6.1.1 NDM (Nomenclature des Matériaux)

Nom de l'item	Description	Unité	Quantité	Unitaire	Coût étendu	Lien
Arduino	Uno R3	S.O.	1	15,25 \$	15,25 \$	<a href="https://makerstore.ca/shop/ols/products/arduino-uno-r3-clone/v/MC001-A">https://makerstore.ca/shop/ols/products/arduino-uno-r3-clone/v/MC001-A</a>
Câbles Jumper	10 cm Femelle-Male	S.O.	15	0,10 \$	1,50 \$	<a href="https://makerstore.ca/shop/ols/products/jumper-cables-pack-of-10">https://makerstore.ca/shop/ols/products/jumper-cables-pack-of-10</a>
Câble USB	Connecte l'Arduino à l'ordinateur	S.O.	1	0 \$	0 \$	Ne s'applique pas
Écran LCD	16x2	S.O.	1	8,99 \$	8,99 \$	<a href="https://makerstore.ca/shop/ols/products/standard-lcd-16x2-extras-white-on-blue">https://makerstore.ca/shop/ols/products/standard-lcd-16x2-extras-white-on-blue</a>
Plaque de prototypage	Half Board	S.O.	1	5,00 \$	5,00 \$	<a href="https://makerstore.ca/shop/ols/products/breadboard/v/C005-HLF">https://makerstore.ca/shop/ols/products/breadboard/v/C005-HLF</a>
Capteur de force	(18,3mm de diamètre) 0.2 - 6	kg	1	7,34 \$	7,34 \$	<a href="https://www.digikey.com/product-detail/en/SEN0294-DFRobot-I-Sensors-Transducers/SEN0294-DFRobot-I-Sensors-Transducers/1182444">SEN0294 DFRobot   Sensors, Transducers   DigiKey</a>
Résistance	10 kOhms		2	0,05%	0,10 \$	<a href="https://www.digikey.com/product-detail/en/CF14JT10K0-Stackpole-Electronics-Inc-Resistors/CF14JT10K0-Stackpole-Electronics-Inc-Resistors/1182444">CF14JT10K0 Stackpole Electronics Inc   Resistors   DigiKey</a>
Bouton poussoir	Bouton On-Off	S.O.	1	1,50 \$	1,50 \$	<a href="https://makerstore.ca/shop/ols/products/on-off-power-button-pushbutton-toggle-switch">https://makerstore.ca/shop/ols/products/on-off-power-button-pushbutton-toggle-switch</a>
Interrupteur à bascule	Interrupteur bascule	S.O.	1	1,00 \$	1,00 \$	<a href="https://makerstore.ca/shop/ols/products/onoff-power-rocker-switch-button">https://makerstore.ca/shop/ols/products/onoff-power-rocker-switch-button</a>
Bâtonnets de popsicle	11.4 de longueur	cm	150	0,02 \$	2,25 \$	<a href="https://www.amazon.ca/s?k=popsicle+sticks&amp;mkfr_CA=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&amp;crd=1SA64UHRIRKGL&amp;sprefix=popsicle+stick%2Caps%2C111&amp;ref=nb_sb_noss_1">https://www.amazon.ca/s?k=popsicle+sticks&amp;mkfr_CA=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&amp;crd=1SA64UHRIRKGL&amp;sprefix=popsicle+stick%2Caps%2C111&amp;ref=nb_sb_noss_1</a>
Impression 3D	PLA(0.1\$/g)	g	300	0,10 \$	30,00 \$	<a href="https://makerepo.com/job_orders/417/step">https://makerepo.com/job_orders/417/step</a>
<b>Coût total (avec taxes et livraison):</b>					<b>82,41 \$</b>	

### 6.1.2 Liste d'équipements

Nom de l'item	Description	Type	# du prototype	Source
<b>Ciseaux</b>	Pour découper des matériaux légers comme les fils	Équipement	#1 et #2 et#3	<b>MakerLab</b>
<b>Règle</b>	Pour mesurer les longueurs des bâtonnets et autres composants	Équipement	#1 et #2 et#3	<b>MakerLab</b>
<b>Câbles et fils de connexion</b>	Pour relier le capteur et l'écran à l'Arduino	Équipement	#2 et#3	<b>MakerStore</b>
<b>Plaque de prototypage</b>	Pour programmer l'Arduino	Équipement	#2 et#3	<b>MakerStore</b>
<b>Tournevis</b>	Pour assembler les composants dans le boîtier	Matériel temporaire	#2 et#3	<b>MakerLab</b>
<b>Imprimante 3D</b>	Pour fabriquer un boîtier personnalisé	Matériel temporaire	#2 et#3	<b>MakerLab</b>
<b>Fer à souder</b>	Pour des connexions permanentes	Matériel temporaire	#2 et#3	<b>MakerLab</b>

### 6.1.3 Instructions

#### 1. Rassembler le matériel

- **Bâtonnets de glace** : Achetez environ 450 bâtonnets (ou ajustez selon la taille du groupe).
- **Capteur de force** : Utilisez un capteur de force analogique résistif avec un temps de réponse de 10 ms.
- **Composants Arduino** :

- Carte Arduino (par exemple, Arduino Uno).
- Fils et board.
- Boutons-poussoirs (2 boutons : un pour les niveaux de difficulté, un pour marche/arrêt).
- Écran LCD (par exemple, LCD I2C 16x2).
- Résistances.
- **Imprimante 3D et/ou découpeuse laser** : Pour fabriquer des pièces comme le boîtier et les connecteurs.
- **Logiciel de CAO** : Utilisez Onshape, Fusion 360 ou TinkerCAD pour concevoir les connecteurs et les pièces.
- **Poids** : Pour tester la résistance des ponts.
- **Optionnel** : Une plateforme en forme de pyramide pour une meilleure répartition de la force sur le capteur.

## **2. Écrire le code Arduino**

Développez un code Arduino pour deux niveaux de difficulté :

- **Mode facile et mode difficile**

Le programme doit inclure :

- Un bouton pour basculer entre les modes.
- Un bouton pour allumer/éteindre le système.
- Un affichage en temps réel de la force mesurée sur le LCD.

```

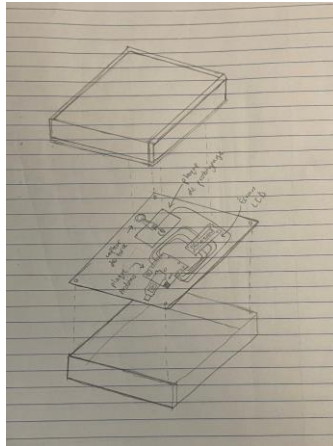
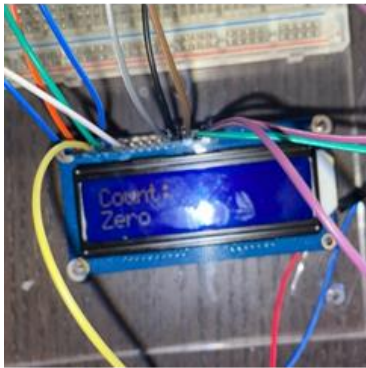
CodeAppareil.ino
1 #include <liquidCrystal.h>
2
3 const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
4 liquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
5
6 const int capteurPin = A0;
7 const int boutonPin = 8;
8 const int interrupteurPin = 7;
9
10 float forceTotale = 0;
11 float forceK = 0;
12
13 unsigned long boutonAppuiTemps = 0;
14 bool boutonAppui = false;
15 bool etatInterrupteur = HIGH;
16
17 void setup() {
18   lcd.begin(16, 2);
19   pinMode(boutonPin, INPUT_PULLUP);
20   pinMode(interrupteurPin, INPUT_PULLUP);
21   pinMode(capteurPin, INPUT);
22
23   lcd.setCursor(0, 0);
24   lcd.print("Appuyez");
25   lcd.setCursor(0, 1);
26   lcd.print("sur le bouton...");
27   delay(2000);
28   lcd.clear();
29 }
30
31 void loop() {
32   int etatBouton = digitalRead(boutonPin);
33   int nouvelEtatInterrupteur = digitalRead(interrupteurPin);
34
35   69   lcd.print("Force totale:");
36   70   lcd.setCursor(0, 1);
37   71   lcd.print(forceTotale, 2);
38   72   lcd.print(" N ");
39   73   lcd.print(masse, 2);
40   74   lcd.print("kg");
41   75 } else {
42   76   // Affiche la force sous forme de note
43   77   char note;
44   78   if (forceTotale < 2.0) note = 'F';
45   79   else if (forceTotale < 4.0) note = 'D';
46   80   else if (forceTotale < 6.0) note = 'C';
47   81   else if (forceTotale < 8.0) note = 'B';
48   82   else note = 'A';
49   83
50   84   lcd.setCursor(0, 0);
51   85   lcd.print("Force totale:");
52   86   lcd.setCursor(0, 1);
53   87   lcd.print("Note: ");
54   88   lcd.print(note);
55   89 }
56   90 }
57   91
CodeAppareil.ino
36   if (etatBouton == LOW) {
37     if (!boutonAppui) {
38       boutonAppuiTemps = millis();
39       boutonAppui = true;
40     } else if (millis() - boutonAppuiTemps > 3000) {
41       forceTotale = 0; // Réinitialise la force après 3 secondes
42       displayForce(etatInterrupteur);
43     }
44   } else if (boutonAppui) {
45     boutonAppui = false;
46     if (millis() - boutonAppuiTemps < 3000) {
47       forceK = (analogRead(capteurPin) / 178.8); //On divise par 178 pour calibrer notre capteur (coefficient trouvé en comparant avec une balance)
48       forceTotale += forceK;
49       displayForce(etatInterrupteur);
50     }
51   }
52
53   if (nouvelEtatInterrupteur != etatInterrupteur) {
54     etatInterrupteur = nouvelEtatInterrupteur; // Met l'état de l'interrupteur à jour
55     displayForce(etatInterrupteur);
56   }
57
58   delay(100);
59 }
60
61 // Fonction pour afficher la force
62 void displayForce(bool etatInterrupteur) {
63   lcd.clear();
64
65   if (etatInterrupteur == LOW) {
66     // Affiche la force sous forme de Newton et kg
67     float masse = forceTotale / 9.8; // Conversion force à masse
68     lcd.setCursor(0, 0);

```

### 3. Créer un boîtier

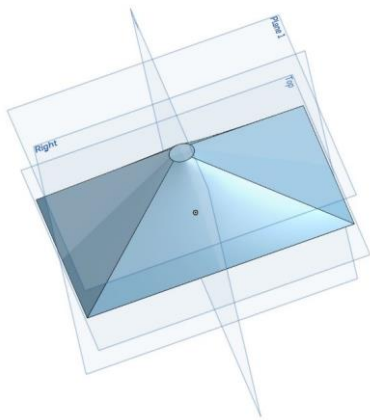
Mesurez le système Arduino assemblé (carte, boutons, fils, LCD) et créez un boîtier :

- **Impression 3D** : Concevez un boîtier robuste avec des découpes pour les boutons et l'écran LCD.
- **Découpe laser** : Utilisez de l'acrylique ou du bois et assemblez avec des vis ou de la colle.



#### 4. Tester et optimiser le capteur de force

- Connectez le capteur de force à l'Arduino.
- Testez sa précision en appliquant des poids connus.
- Si les mesures sont incohérentes, **imprimez en 3D une plateforme en forme de pyramide** pour répartir uniformément la force.



#### 5. Mesurer et concevoir les connecteurs

- Mesurez les dimensions de vos bâtonnets de glace (largeur, épaisseur).
- Créez des connecteurs avec des ouvertures dans différentes directions pour une construction polyvalente.
- Exemples de connecteurs :
  - **Connecteurs droits** (pour des connexions linéaires).
  - **Connecteurs en T** (pour des angles de 90 degrés).
  - **Connecteurs en croix** (pour des joints multidirectionnels).

**Logiciel de conception :** Utilisez un logiciel de CAO pour créer les modèles. Ajustez les dimensions pour un ajustement parfait.

## **6. Imprimer les connecteurs**

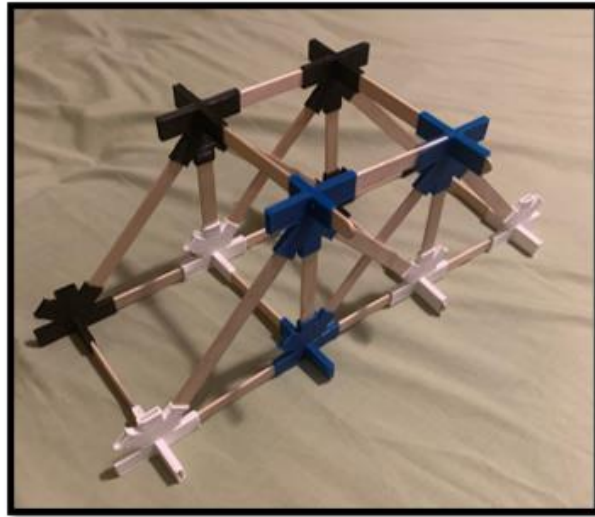
- **Quantité :** En fonction du nombre de bâtonnets disponibles, estimez combien de connecteurs vous aurez besoin.
- Imprimez un petit lot pour tester l'ajustement et la fonctionnalité, puis imprimez le lot complet.



## **7. Tester et itérer**

- Construisez des structures d'essai pour vérifier la durabilité et la facilité d'utilisation des connecteurs.
- Testez le système du capteur de force avec différents modèles de ponts.
- Assurez-vous que le programme Arduino fonctionne sans bugs après plusieurs utilisations.
- Apportez les ajustements nécessaires au matériel, à la conception ou au code en fonction des retours des tests.





## 6.2 Essais & validation

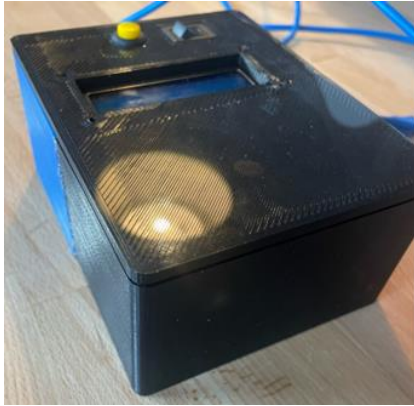
### Essais et validation des sous-systèmes mécaniques:

1. **Tests de charge:** Nous avons testé les structures de ponts en ajoutant des poids progressifs jusqu'à l'échec, afin de garantir que les connecteurs maintiennent la stabilité tout en permettant une défaillance réaliste.
2. **Durabilité des connecteurs:** Les connecteurs imprimés en 3D ont été soumis à plusieurs cycles d'assemblage et de démontage pour évaluer leur résistance à l'usure et leur réutilisabilité.
3. **Compatibilité des matériaux:** Nous avons vérifié que les bâtonnets de bois standard s'adaptent à toutes les versions des connecteurs imprimés.



### Essais et validation des sous-systèmes électriques:

1. **Calibrage du capteur:** Nous avons utilisé des poids standardisés pour calibrer le capteur de force et garantir des mesures précises.
2. **Test de durabilité:** Le capteur a été soumis à des charges répétées pour vérifier sa précision et sa fiabilité à long terme.
3. **Validation fonctionnelle:** La carte Arduino et l'écran ont été testés dans les deux modes (basique et avancé) pour garantir des performances fluides et une convivialité pour les élèves.



#### **Essais et validation des sous-systèmes logiciels:**

1. **Test de précision:** Les lectures du capteur ont été comparées aux valeurs connues pour valider l'exactitude des calculs du programme.
2. **Tests de convivialité:** Le logiciel a été testé avec des enfants pour vérifier que l'interface était intuitive et accessible.
3. **Tests de mode:** Les deux modes (basique et avancé) ont été évalués pour garantir que les fonctionnalités répondent aux besoins des différents niveaux scolaires.

## 7 Conclusions et recommandations pour les travaux futurs

En conclusion, ce projet est une source très enrichissante d'importantes leçons qui seront essentielles pour notre futur en tant qu'ingénieurs. D'abord, première leçon apprise a été de distribuer efficacement les tâches de projet : plus on distribue de manière équilibrée les travaux à faire pour un livrable, plus le temps de complétion et de remise de ceux-ci est petit, ce qui élimine une grande quantité de stress inutile aux membres de l'équipe. Par conséquent, pour les travaux futurs, il serait important de distribuer la charge de travail de plus également possible, tout en tenant compte des forces et des faiblesses de chacun. La seconde leçon apprise a été que la communication est l'essence même d'une équipe de conception : en effet, sans communication continue, une équipe de conception ne peut être efficace et ne peut que très rarement s'en sortir sans conflits. Par ailleurs, il est aussi important de se rappeler de ne pas laisser un conflit prendre de l'ampleur inutilement au sein de l'équipe, puisqu'un conflit entraîne un retard considérable dans la remise des travaux, et par conséquent, instaure un environnement qui n'est pas sain au travail et à la conception de prototypes. Pour les travaux futurs, il serait donc indiqué de régler un conflit dès ses débuts, afin de maintenir un environnement de travail de conception sain. La troisième leçon apprise a été d'apprendre à reconsidérer une idée et savoir l'abandonner lorsqu'il en est temps : si on remarque qu'une idée semble poser un problème dans l'avancée d'un projet, il faut être capable de reprendre en considération cette idée et de l'éliminer si elle n'aide en rien la complétion du projet. La dernière leçon apprise est la plus importante : il est normal de commettre des erreurs, le plus important est de ne pas les reproduire et surtout, de s'amuser en apprenant !

Si nous disposions de quelques mois de plus pour travailler sur ce projet, la première étape serait de revoir notre système de liaison : bien que celui-ci soit déjà très fonctionnel et qu'il puisse résister à une charge très grande (10-15kg), il est trop solide et ne respecte pas la norme de destructibilité, c'est-à-dire que même après avoir déposé 15 kg, la structure ne s'effondre pas et reste de marbre. La solution serait donc de modifier le fichier Onshape contenant les liaisons 3D et d'agrandir le trou pour mettre les armatures afin que celles-ci puissent entrer et sortir plus facilement des trous. De cette manière, après une charge plus petite, la structure serait capable de s'effondrer, ce qui respecterait le critère de destructibilité. Il serait aussi possible de se procurer un écran ACL plus lumineux, ce qui améliorerait la visibilité et la lecture des résultats pour les élèves. Ensuite, afin de faire diminuer le coût du projet, il serait recommandé de remplacer le boîtier contenant l'AMF pour opter pour un boîtier en MDF. De cette manière, cela réduirait le coût total du projet et cela protégerait d'avantage l'AMF. Malheureusement, en raison du manque de temps pour le projet, nous n'avons pas eu la chance d'apporter ces modifications, bien que celle-ci aient été ajoutées dans notre plan de projet.

## 8 Bibliographie

Circuits DIY. (s.d.). *How to use a switch with Arduino*. Extrait le 22 novembre, 2024, de

<https://www.circuits-diy.com/how-to-use-a-switch-with-arduino/>

HBM. (s.d.). *Mesure de force dans un ensemble mécanique*. HBM.

<https://www.hbm.com/fr/2955/mesure-de-force-dans-un-ensemble-mecanique/>

Opitec. (s.d.). *Fils chenille/Cure-pipes, 8 mm ( $\phi$ ), 100 pièces*. Opitec.

<https://www.opitec.ch/fr/bricolage-decoration/fils-chenille/fils-chenille-cure-pipes/fils-chenille-cure-pipes-8-mm-100-pieces.html>

## APPENDICES

### 9 APPENDICE I: Fichiers de conception

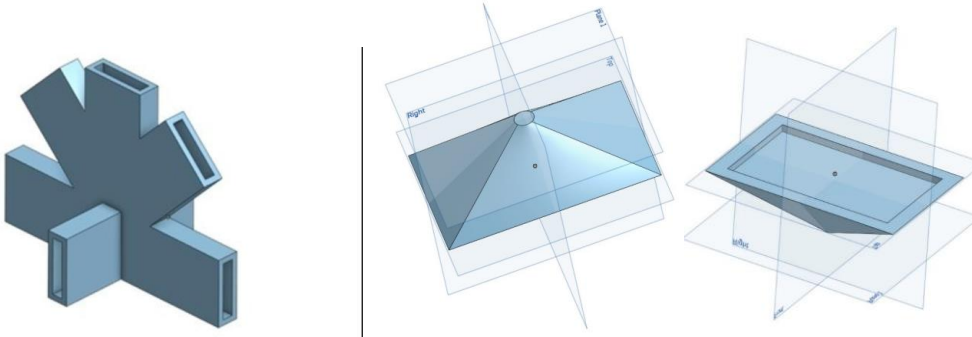


Table 3. Documents référencés

Nom du document	Emplacement d
Liaison FA11	<a href="https://cad.onshape.com/documents/895decdab3f73c72299853b5/w/1f059f6efc4b0d272">https://cad.onshape.com/documents/895decdab3f73c72299853b5/w/1f059f6efc4b0d272</a>
Plateforme 1	<a href="https://cad.onshape.com/documents/1a48c3714aea40c5c3b436ac/w/7dad270847e9f09d">https://cad.onshape.com/documents/1a48c3714aea40c5c3b436ac/w/7dad270847e9f09d</a>
Plateformefinale	<a href="https://cad.onshape.com/documents/176eb8eee8d83012851bf008/w/bcf545cb72e69f68">https://cad.onshape.com/documents/176eb8eee8d83012851bf008/w/bcf545cb72e69f68</a>

## 10 APPENDICE II: Autres Appendices

### Appendice II.1 : Code source de l'AMF

```
1  #include <LiquidCrystal.h>
2
3  const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
4  LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
5
6  const int capteurPin = A0;
7  const int boutonPin = 8;
8  const int interrupteurPin = 7;
9
10 float forceTotale = 0;
11 float forceN = 0;
12
13 unsigned long boutonAppuiTemps = 0;
14 bool boutonAppui = false;
15 bool etatInterrupteur = HIGH;
16
17 void setup() {
18     lcd.begin(16, 2);
19     pinMode(boutonPin, INPUT_PULLUP);
20     pinMode(interrupteurPin, INPUT_PULLUP);
21     pinMode(capteurPin, INPUT);
22
23     lcd.setCursor(0, 0);
24     lcd.print("Appuyez");
25     lcd.setCursor(0, 1);
26     lcd.print("sur le bouton...");
27     delay(2000);
28     lcd.clear();
29 }
30
31 void loop() {
32
33     int etatBouton = digitalRead(boutonPin);
34     int nouvelEtatInterrupteur = digitalRead(interrupteurPin);
```

```

35
36  if (etatBouton == LOW) {
37      if (!boutonAppui) {
38          boutonAppuiTemps = millis();
39          boutonAppui = true;
40      } else if (millis() - boutonAppuiTemps >= 3000) {
41          forceTotale = 0; // Réinitialise la force après 3 secondes
42          displayForce(etatInterrupteur);
43      }
44      } else if (boutonAppui) {
45          boutonAppui = false;
46          if (millis() - boutonAppuiTemps < 3000) {
47              forceN = (analogRead(capteurPin) / 178.0);
48          //On divise par 178 pour calibrer le capteur (coefficient trouvé en comparant avec une balance)
49              forceTotale += forceN;
50              displayForce(etatInterrupteur);
51          }
52      }
53
54      if (nouvelEtatInterrupteur != etatInterrupteur) {
55          etatInterrupteur = nouvelEtatInterrupteur; // Met l'état de l'interrupteur à jour
56          displayForce(etatInterrupteur);
57      }
58
59      delay(100);
60  }
61
62  // Fonction pour afficher la force
63  void displayForce(bool etatInterrupteur) {
64      lcd.clear();
65
66      if (etatInterrupteur == LOW) {
67          // Affiche la force sous forme de Newtons et kg
68          float masse = forceTotale / 9.8; // Conversion force à masse

```

```

69     lcd.setCursor(0, 0);
70     lcd.print("Force totale:");
71     lcd.setCursor(0, 1);
72     lcd.print(forceTotale, 2);
73     lcd.print(" N ");
74     lcd.print(masse, 2);
75     lcd.print("kg");
76 } else {
77     // Affiche la force sous forme de note
78     char note;
79     if (forceTotale < 2.0) note = 'F';
80     else if (forceTotale < 4.0) note = 'D';
81     else if (forceTotale < 6.0) note = 'C';
82     else if (forceTotale < 8.0) note = 'B';
83     else note = 'A';
84
85     lcd.setCursor(0, 0);
86     lcd.print("Force totale:");
87     lcd.setCursor(0, 1);
88     lcd.print("Note: ");
89     lcd.print(note);
90 }
91 }

```