

**Livrable D - Conceptualisation**

**Mehdi Belhouari**

**Cédric Binate**

**Jaouen Girijambo**

**Félix Nguyen**

**Arnold Gueukam Nitcheu**

**Laurence Riendeau**

**Le 13 octobre 2024**



## Résumé

Ceci est le livrable D pour notre projet de conception. Ce document présente les divers concepts générés et choisis pour les sous-systèmes ainsi que le concept fonctionnel final et sert à documenter notre processus de conception ainsi que tous nos concepts générés. L'objectif principal de ce document est de pouvoir garder des traces de notre travail qu'on pourra consulter dans le futur en cas de besoin.

## Table des matières

Table des matières .....	4
1 Introduction .....	5
1.1 Travaux connexes .....	5
2 En-tête de sujet principal .....	5
4 Troisième en-tête de sujet principal .....	6
4.1 Sous-titre du sujet du troisième sujet principal .....	6
4.2 Un autre sous-titre du sujet du troisième sujet principal .....	6
4.3 Encore un autre sous-titre .....	6
4.3.1 Première sous-section .....	7
4.3.2 Deuxième sous-section .....	7
4.3.3 Troisième sous-section .....	8
5 Conclusions et recommandations .....	9
6 Travail futur .....	9
7 Références .....	10

## 1 Introduction

Dans le cadre du projet du cours GNG1503, notre équipe devra concevoir pour une nouvelle méthode qui permettra à des élèves de la 3<sup>ème</sup> à la 8<sup>ème</sup> année de faire l'atelier Forces et Structures de l'Université d'Ottawa ainsi qu'un dispositif de mesure de force qui sera utilisé durant cet atelier. On est présentement rendu à l'étape de la conception dans ce projet. Ce livrable aura donc pour but de documenter notre travail pour cette phase du projet.

### 1.1 Travaux connexes

Notre livrable fait partie du projet plus grand de conception dans le cadre de ce cours. Il s'inscrit dans la lignée de livrables, suivant le livrable C qui parlait des critères de conception et précédant le livrable E qui portera sur la plan et coût du projet. On utilisera alors des informations provenant des livrables A à C. Les informations dans ce livrable seront ensuite utilisées pour les livrables E et suivants surtout pour les livrables de prototypages, les prototypes étant élaborés à partir de ce qui est choisi dans ce livrable.

## 2 Choix et définition des sous-systèmes

La première étape de la conception de notre solution finale est la décomposition de cette dernière en sous-systèmes pour lesquels on générera des concepts. Ces sous-systèmes correspondent à 3 éléments qu'on a jugé comme étant cruciaux à la réussite de notre solution et donc méritant une analyse et conception plus approfondie. On a donc établi les 3 sous-systèmes comme étant le matériel, l'affichage du dispositif et la méthode d'application de la force sur la structure.

### 2.1 Sous-système 1 : Le matériel

On a choisi le matériel comme un sous-système de notre solution, car il est une composante cruciale de l'atelier. Sans matériel, il n'y aurait tout simplement pas d'atelier. Ce sous-système consiste des objets qui seront manipulés et utilisés par les élèves pour construire leur structure. Selon les informations qu'on a obtenues, les matériaux devraient pouvoir se plier, mais ne pas se briser. Les structures construites doivent être capables de se briser sans que le matériel se brise.

### 2.2 Sous-système 2 : L'affichage

On a choisi l'affichage du dispositif de mesure de force, car il est une partie importante de la solution. En effet, pour la réussite de l'atelier, il faut que les élèves puissent évaluer précisément la force appliquée sur leur structure. Il faut donc que celle-ci puisse être présentée d'une façon précise et lisible. Ce sous-système consistera donc de tout ce qui concerne l'affichage des unités de force et types d'unités.

## 2.3 Sous-système 3 : L'application de la force

On a choisi l'application de la force sur la structure comme étant notre troisième et dernier concept. On a choisi ceci, car cet élément est crucial à la réalisation de l'atelier. Il faut savoir comment les élèves vont faire pour tester leur structure pour pouvoir bien adapter notre solution à cela. Ces tests sont une partie très importante de l'atelier et permettent principalement aux élèves de faire leur apprentissage sur les forces et leurs effets sur les structures. Ce sous-système concerne alors tout ce qui porte sur le fonctionnement de l'évaluation des structures.

## 3 Concepts générés

Cette section présentera un à un les concepts générés par l'équipe qui seront ensuite suivis d'une petite analyse.

### 3.1 Sous-système 1

Cette sous-section contient les concepts pour le sous-système 1, le matériel.

#### 3.1.1 Concept 1 : Tiges en aluminium avec charnières

Auteur : Cédric



*Figure 1: Tiges d'aluminium semblables à celles qui pourraient être utilisées*

L'aluminium est léger, flexible et durable, capable de supporter des impacts tout en étant maniable. Il a été identifié comme étant une bonne option dans le livrable C (3<sup>ème</sup> meilleure). L'aluminium pourrait être retenu en raison de sa durabilité et du faible impact environnemental, mais à surveiller en termes de sécurité.

Avantages : Très durable, recyclable, adapté pour des structures qui doivent plier sous pression

Inconvénients Coût, risque de blessures légères si mal manipulé.

### 3.1.2 Concept 2 : Tubes imprimés

Auteur : Arnold



Figure 2: Exemple de tube imprimé en 3D



Figure 3: Filaments utilisés pour l'impression 3D

Les tubes en imprimés à l'impression 3D avec des filaments élastomères peuvent être une bonne option . Cela confère au matériau des propriétés élastomères similaires à celles du caoutchouc. Le matériau subit la charge mais absorbe cette dernière et reprend sa forme initiale. L'option d'esthétique sera misé sur la couleur avec le choix de couleur des filaments 3D. Grâce à l' impression 3D on pourra choisir la section et les dimensions souhaitées pour notre matériau. Pour les connections entre les tubes on pourra aussi opter pour une impression 3D.

Avantages : Le matériel est pliable et se brise moins fréquemment, plusieurs options disponibles pour l'esthétique, facile à acquérir pour les responsables

Désavantages : Temps de remplacement long en cas de bris (impression 3D)

### 3.1.3 Concept 3 : Pailles créatives

Auteur : Laurence



Figure 4: Exemple de pailles créatives disponibles sur le marché

Les pailles créatives en plastique avec joints en étoiles seraient une bonne option. Elles sont assez rigides pour construire une structure mais ne se cassent pas (elles se plieront avant de se casser), elles sont colorées et attrayantes pour les enfants et offrent un nombre infini d'options de construction.

Avantages : facile à utiliser, déjà disponible sur le marché, répliquable avec les ressources de l'université, peut être attrayant pour les enfants

Inconvénients : les pailles ont tendance à s'user rapidement lorsqu'on les plie, les joints ne permettent pas d'accrocher des pailles diagonalement sans les plier

### 3.1.4 Concept 4 : Boules et bâtonnets

Auteur : Félix

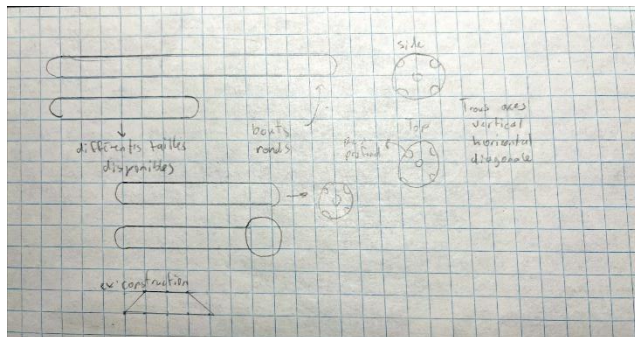


Figure 5: Esquisse du concept

Le matériel serait composé de bâtonnets cylindriques et de boules à 12 trous (axes vertical, horizontal et diagonals). On insérerait les bâtonnets dans les boules pour construire la structure, similaire aux modèles d'atomes donnés aux jeunes élèves. Ceci est assez facile à comprendre ce qui aidera les élèves. Les bâtonnets ont entre autres des bouts arrondis pour éviter les blessures dû aux coins pointus. Ils seront disponibles en plusieurs tailles pour les élèves. Les trous dans les boules seront peu creux ce qui aidera à démonter plus rapidement les structures. De plus, je théorise qu'avec les bouts ronds, lorsque la structure rencontrera une



trop grande charge, les bâtons glisseront en dehors des joints au lieu de se briser. Cependant, cela est à tester. Le matériau utilisé pour les boules et bâtonnets peut varier et sera déterminé plus tard. Un matériau tel le plastique imprimé peut aider en termes de disponibilité et de coûts tandis qu'un matériau métallique comme l'aluminium peut aider avec la durabilité.

Avantages : facile à utiliser, facile à démonter, possible meilleure résistance aux bris, avantages supplémentaires liés au matériau de fabrication

Désavantage : joints un peu complexes à fabriquer, potentiellement moins résistant aux bris, désavantages supplémentaires liés au matériau de fabrication

### 3.1.5 Concept 5 : Modèle Lego Technic

Auteur : Félix

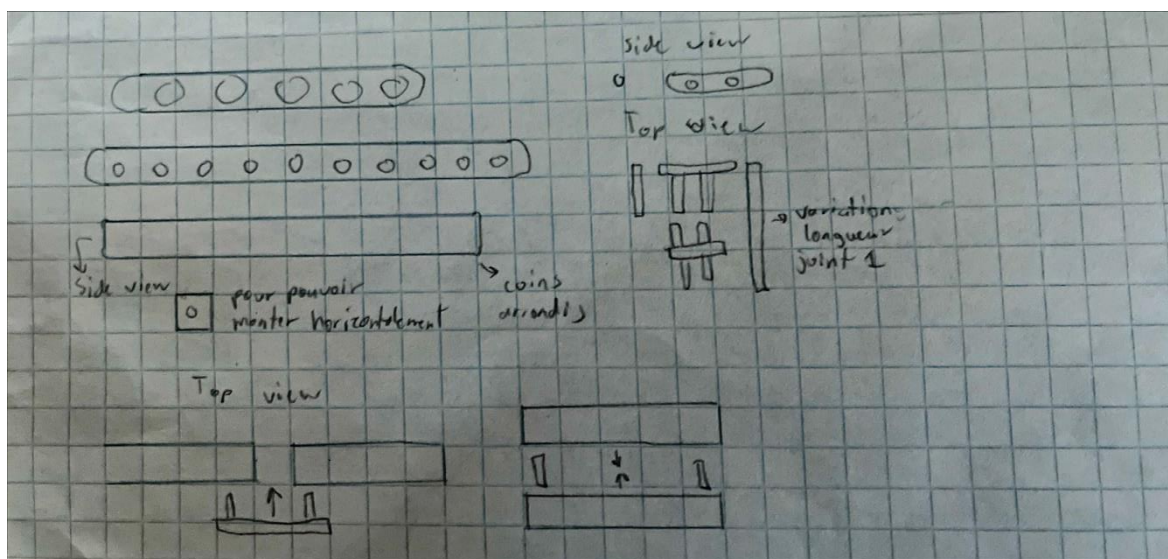


Figure 6: Esquisse du concept

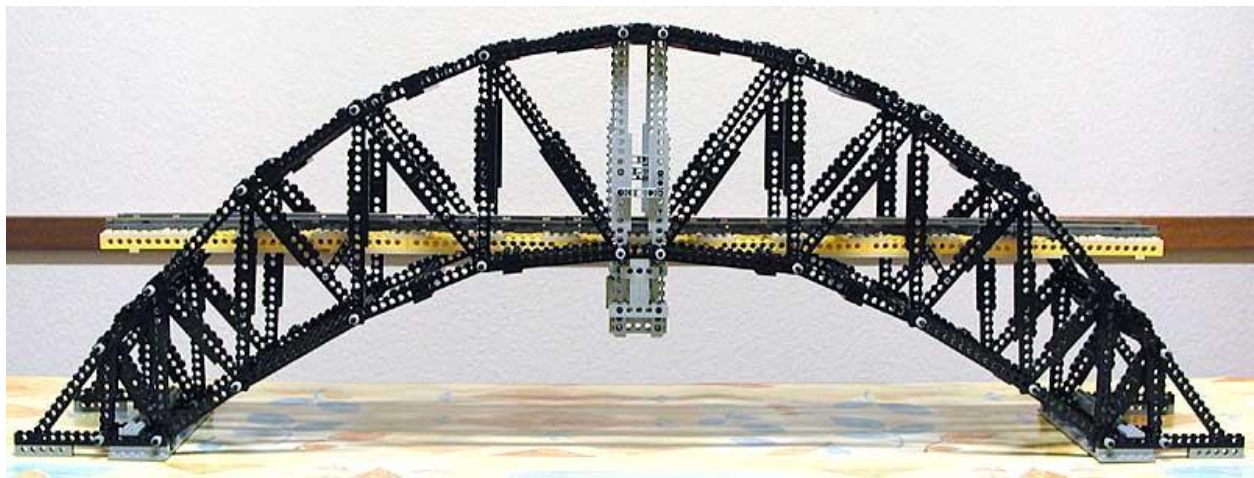
Concept similaire à celui des Lego Technic existant sur le marché. On aurait des pièces trouées sur les côtés. Elles seraient ensuite fixées grâce à des petits cylindres mis dans ces trous. Les pièces et les attaches auront plusieurs variations en termes de tailles et d'utilité. Ce concept est très similaire aux Lego Technic ce qui pourrait aider les élèves à mieux comprendre comment les utiliser. Par contre, ceci pourrait être plus dur pour des élèves plus jeunes tout comme c'est le cas avec les Lego Technic. Par contre ces derniers peuvent être utilisés pour construire des structures tel des ponts (voir en dessous). Je crois donc qu'un tel matériel pourrait être utilisé pour l'atelier. De plus, ceci serait assez facilement manufacturable avec ce qu'on a à l'université. On pourrait créer les pièces avec la découpe laser et les joints avec l'impression 3D.

Avantages : similitude avec un produit existant peut aider la compréhension, facilement fabriquable avec les ressources actuelles, construction de structures plus avancées possible

Inconvénients : plus dur à comprendre pour les jeunes élèves, plus complexe à utiliser que d'autres concepts, pièces non flexibles



*Figure 7: Pièces Lego Technic*



*Figure 8: Pont construit avec des Lego Technic*

### 3.1.6 Concept 6 : TPE

Auteur : Jaouen



*Figure 9: Tubes en thermoplastiques (TPE)*

Pour concevoir une structure capable de se plier sans que le matériau se brise, il est primordial de choisir des matériaux qui possèdent à la fois une bonne flexibilité et une résistance à la

rupture tel que les élastomères thermoplastiques (TPE). En effet, ce matériau combine les avantages des plastiques et des caoutchoucs. En d'autres mots, ce matériau est flexible et peut être plié plusieurs fois sans se casser. Avec ce matériau, quand la structure conçue par l'étudiant se déforme, cela définit la force maximum que cette structure peut supporter.

Avantages : flexibles donc évite les bris, assez facile à obtenir

Inconvénients : possiblement moins solide, non écologique

### 3.1.7 Concept 7

Auteur : Mehdi

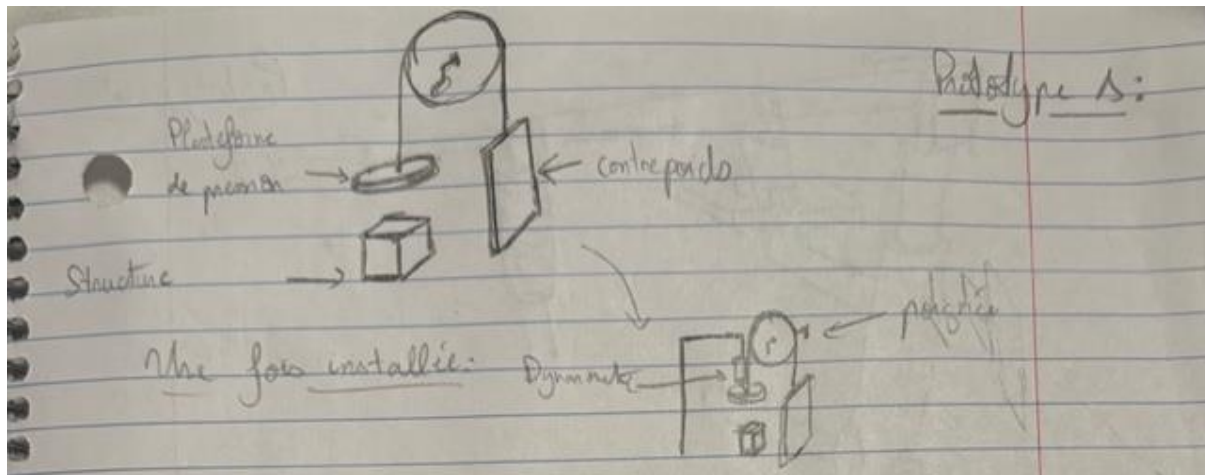


Figure 10: Esquisse du concept

## 3.2 Sous-système 2

Cette section contient les concepts pour le sous-système 2, l'affichage

### 3.2.1 Concept 1 : Affichage numérique avec LED pour Newton/kilogrammes

Auteur : Cédric



Figure 11: Exemple d'affichage LED similaire au concept

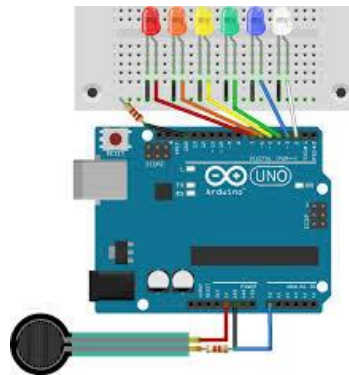
L'utilisation d'un affichage numérique est claire, précise et facile à comprendre pour les élèves. Ceci répond aux besoins identifiés dans le livrable B et l'affichage numérique a été identifié comme étant la meilleure option dans le livrable C. On pourrait le choisir pour sa clarté et simplicité d'utilisation, même pour des jeunes élèves

Avantages : Affichage clair des unités en Newton ou en kilogrammes, facile à configurer, peu coûteux, réalisable avec Arduino

Inconvénients : Peut nécessiter une alimentation externe constante

### 3.2.2 Concept 2 : Série de LED

Auteur : Cédric



*Figure 12: Exemple d'un circuit Arduino avec des LED en série*

Utiliser des lumières pour représenter des niveaux de force offre une alternative visuelle intéressante. On peut l'utiliser pour des contextes où la précision n'est pas primordiale, mais rejeté si la précision est un critère critique.

Avantages : Simple à visualiser, facilement réalisable, matériaux nécessaires déjà disponibles

Inconvénients : Moins précis

### 3.2.3 Concept 3

Il s'agit aussi d'un texte aléatoire, mais suffisamment long et décousu pour que le lecteur sache qu'il s'agit d'une phrase et qu'il ne peut pas s'agir d'un titre.

### 3.2.4 Concept 4

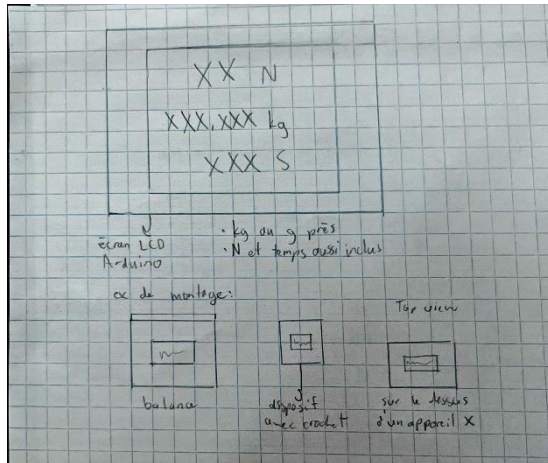
Il s'agit aussi d'un texte aléatoire, mais suffisamment long et décousu pour que le lecteur sache qu'il s'agit d'une phrase et qu'il ne peut pas s'agir d'un titre.

### 3.2.5 Concept 5

Il s'agit aussi d'un texte aléatoire, mais suffisamment long et décousu pour que le lecteur sache qu'il s'agit d'une phrase et qu'il ne peut pas s'agir d'un titre.

### 3.2.6 Concept 6 : Écran LCD Arduino

Auteur : Félix



On utiliserait un écran LCD Arduino pour l’affichage tout comme lors d’un labo précédent. Ce matériel est facilement disponible à l’université et est facilement réalisable. L’affichage serait numérique, ce qui aide la précision, et nous donne le poids(kg), la force(N) et le temps(s) ce qui correspond à tout ce qui était demandé comme mesure. Il peut être monté à plusieurs endroits sur le dispositif.

### 3.2.7 Concept 7

Il s’agit aussi d’un texte aléatoire, mais suffisamment long et décousu pour que le lecteur sache qu’il s’agit d’une phrase et qu’il ne peut pas s’agir d’un titre.

## 3.3 Sous-système 3

Cette section contient les concepts pour le sous-système 3, l’application de la force.

### 3.3.1 Concept 1

#### Cedric

L’utilisation de ressorts calibrés pour appliquer une force mesurable est une option simple et mécanique. Elle présente l’avantage d’être peu coûteuse, robuste et facile à mettre en œuvre, ce qui en fait un choix pratique pour des situations où des tests simples sont suffisants. Toutefois, ce dispositif manque de précision, ce qui peut être un inconvénient dans des cas nécessitant des mesures très exactes. Malgré cette limitation, il peut être retenu pour des applications où une précision extrême n’est pas essentielle.





### 3.3.2 Concept 2

#### Arnold

Le système d'application de la force peut être une masse ou un poids en acier inoxydable usiné accroché à un dispositif relié à un capteur qui renvoi l'information de sa masse l'unité d'affichage numérique mentionné au sous système 2 . Ce type de dispositif permet d'interchanger ou d'appliquer une force progressif a la structure jusqu'à son point de rupture .

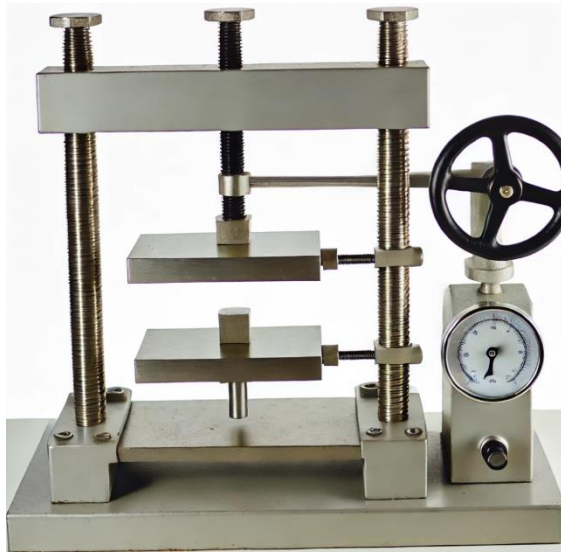
Sa réalisation est très complexe et nécessite de ressources financières et dans le domaine d'usinage conventionnelle



### 3.3.3 Concept 3

### Mehdi

La structure peut être placée entre deux plaques, et une force serait appliquée en comprimant la structure entre les plaques. En effet, cela permettrait de mesurer la résistance à la compression de manière contrôlée et progressive. Avec cette méthode, les élèves pourraient tourner une manivelle pour rapprocher les plaques et observer la déformation de la structure. Le dispositif pourrait mesurer la force de compression à différents niveaux.



### 3.3.4 Concept 4

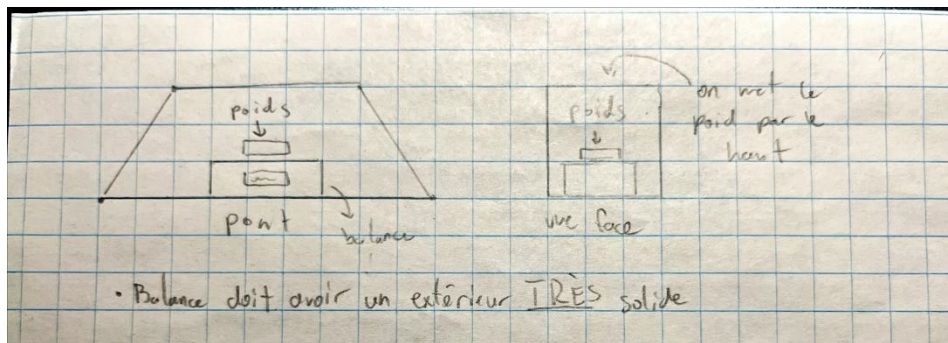
#### Laurence

Le dispositif serait simplement des petites masses avec des crochets. Des petites cruches seraient remplies d'eau par l'animateur et la masse serait inscrite sur la cruche (il pourrait y avoir un bouchon ou un couvercle vissé). Si elles tombaient par terre elles ne se casseraient pas et ne feraient pas de dégât. Les cruches pourraient être changées une après l'autre pour partir d'une plus petite masse à une plus grande masse. Les étudiants/le présentateur pourraient aussi accrocher plusieurs petites cruches à la structure jusqu'à temps qu'elle se défasse. Les différentes masses seraient légères pour le transport puisqu'elle serait vide. Nous sommes capables de calculer la masse cubique de l'eau qui sera la masse affichée sur la petite cruche. Elles peuvent être faites avec l'imprimante 3D donc facile à remplacer au besoin. Le même design serait simplement redimensionner pour avoir des poids de différentes masses.



### 3.3.5 Concept 5 : Application verticale avec balance

Auteur : Félix

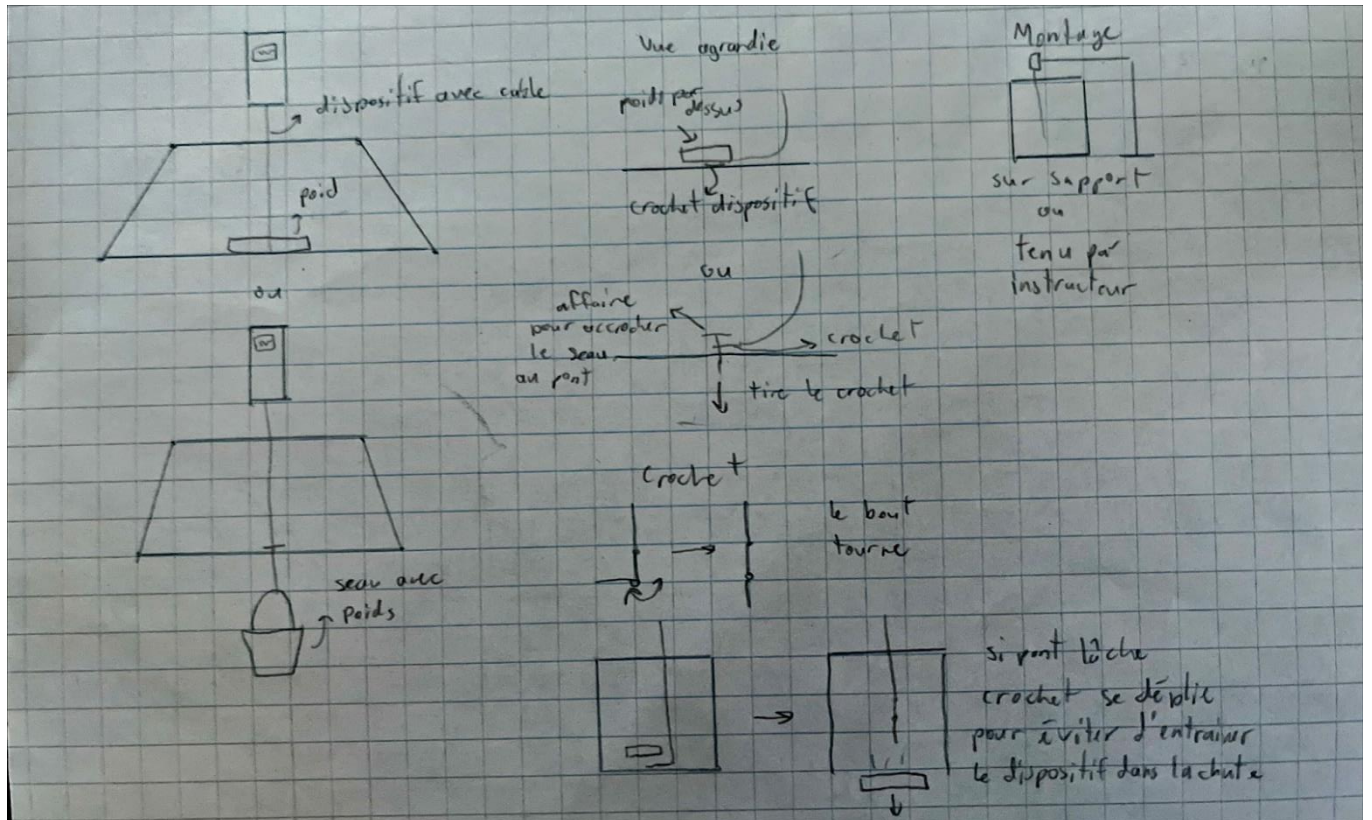


Notre dispositif dans ce scénario serait une petite balance. Elle serait mise sur la structure et on mettrait ensuite des poids ou autres objets sur cette dernière. La balance serait programmée pour prendre en compte son poids dans la force appliquée. Les objets seraient ajoutés par en haut.

### 3.3.6 Concept 6 : Dispositif à crochet

Auteur : Félix





Le dispositif serait un capteur de force à crochet monté par-dessus le pont. On aurait un seau ou un contenant accroché à une corde. On accrocherait le seau par-dessus le crochet du capteur. On mettrait ensuite nos poids ou objets dans le seau ce qui tirera sur le crochet du capteur. Ce crochet est pliable. Si le pont cède, ce crochet serait capable de se déplier pour éviter que le dispositif soit aussi entraîné dans la chute.

### 3.3.7 Concept 7

#### Jaouen:

Un dynamomètre est un dispositif avec un ressort qui mesure la force appliquée lorsque l'on tire dessus. Les élèves peuvent appliquer une force à la structure en tirant avec le dynamomètre. Le dynamomètre est facile à utiliser et permettrait de mesurer des forces précises en Newton. Les élèves peuvent accrocher le dynamomètre à la structure et appliquer une force en tirant sur ce dispositif.



## 4 Concepts choisis

Suite à la génération des concepts, notre équipe a choisi 3 concepts pour chaque sous-système qu'on considérerait comme étant les meilleurs. Les voici suivi d'une analyse de ce qui nous a poussé à les choisir.

### 4.1 Sous-système 1

Cette sous-section présente les 3 concepts choisis pour le sous-système 1.

#### 4.1.1 Concept 1

**Tiges en aluminium avec charnières** : Ce concept a été considéré pour sa **durabilité** et son aspect **recyclable**, des qualités idéales pour des structures devant résister aux impacts tout en étant flexibles. L'aluminium est léger, ce qui facilite sa manipulation, mais il présente certains risques pour les enfants, notamment des **blessures légères** si mal manipulé. De plus, son **coût élevé** a également été un facteur limitant dans la décision finale.

#### 4.1.2 Concept 2

**Tubes imprimés en 3D** : Les tubes en filaments élastomères apportent des avantages considérables. Ils sont **pliables** et reprennent leur forme initiale après avoir subi une déformation, ce qui les rend intéressants pour des usages pédagogiques. Leur **flexibilité** et la capacité à personnaliser les dimensions en font une solution très pratique. Cependant, le **temps de remplacement** en cas de bris est un inconvénient majeur, car l'impression 3D peut prendre du temps, ce qui n'est pas idéal dans un environnement d'atelier où l'utilisation doit être immédiate.

#### 4.1.3 Concept 3

**Boules et bâtonnets** : Ce concept offre une solution facile à comprendre et à manipuler pour les élèves. Les **bâtonnets** s'insèrent dans des **boules à plusieurs trous**, permettant des constructions simples mais robustes. De plus, le matériau peut être choisi pour offrir un bon compromis entre **coût** et **durabilité**. Ce concept est particulièrement adapté aux enfants grâce à sa **simplicité** et sa **sécurité**, car les bouts arrondis minimisent les risques de blessures. C'est également une solution **facile à démonter**, ce qui permet de réutiliser les éléments pour d'autres constructions. Ces atouts, combinés à une **réplicabilité** facile avec les ressources disponibles, justifient le choix final de ce concept pour le sous-système matériel.

### 4.2 Sous-système 2

Cette sous-section présente les 3 concepts choisis pour le sous-système 2.

#### 4.2.1 Concept 1

**Affichage numérique avec LED** : Ce concept propose un affichage **clair et précis** des mesures en Newton ou en kilogrammes, ce qui répond parfaitement aux besoins identifiés pour l'atelier. Il est simple d'utilisation, même pour de jeunes élèves, et peut être réalisé à faible coût.

Cependant, il nécessite une **alimentation externe constante**, ce qui peut être un inconvénient dans un environnement mobile ou dans des ateliers qui durent longtemps.

#### 4.2.2 Concept 2

**Série de LED** : Utiliser une série de LED pour afficher la force offre une alternative visuelle intéressante, simple et directe. Les élèves peuvent rapidement visualiser les changements de force en voyant les lumières s'allumer progressivement. Toutefois, cette solution manque de **précision**, ce qui la rend moins adaptée lorsque des mesures exactes sont nécessaires, surtout pour des activités pédagogiques qui nécessitent de quantifier la force appliquée.

#### 4.2.3 Concept 3

**Écran LCD Arduino** : Ce concept s'impose comme le meilleur choix en raison de sa **précision** et de sa **polyvalence**. Il permet d'afficher plusieurs types de mesures (force, poids, temps), ce qui correspond exactement aux besoins du projet. De plus, l'écran LCD est **facile à obtenir** et à installer, avec des ressources déjà disponibles à l'université. L'intégration avec Arduino offre une solution technologique robuste qui assure des résultats précis et une interface facile d'utilisation. La combinaison de ces avantages justifie le choix de cet affichage pour le sous-système.

### 4.3 Sous-système 3

Cette sous-section présente les 3 concepts choisis pour le sous-système 3.

#### 4.3.1 Concept 1

**Ressorts calibrés** : Ce concept se distingue par sa **simplicité** et sa robustesse. Les ressorts calibrés permettent d'appliquer une force mesurable de manière mécanique, sans nécessiter d'électronique complexe. Toutefois, le manque de **précision** dans la mesure de la force appliquée le rend moins adapté pour des activités pédagogiques où une mesure exacte est importante pour l'apprentissage des élèves. Il reste une solution économique mais limitée.

#### 4.3.2 Concept 2

**Poids en acier avec capteur** : Ce concept permet une **application progressive et interchangeable** de la force, offrant ainsi une grande flexibilité dans les tests des structures. Il peut être combiné avec l'affichage numérique pour mesurer avec précision la force exercée. Cependant, sa **réalisation est complexe** et nécessite des ressources coûteuses et un usinage spécifique, ce qui rend cette solution moins pratique à mettre en œuvre dans un cadre pédagogique.

#### 4.3.3 Concept 3

**Compression entre plaques** : Ce concept est le plus prometteur, car il permet une mesure **progressive et contrôlée** de la résistance des structures. Les élèves peuvent manipuler une manivelle pour appliquer une force de compression entre deux plaques, ce qui rend l'activité interactive et engageante. De plus, ce dispositif offre une **précision** supérieure, ce qui est essentiel pour l'évaluation des forces appliquées. Sa **simplicité de fabrication** et d'utilisation le

rend également adapté pour un environnement éducatif. C'est pour ces raisons qu'il a été retenu comme le meilleur choix pour ce sous-système.

## 5 Concepts finaux

Cette section montre les concepts retenus pour chaque sous systèmes

### 5.1 Présentation des concepts fonctionnels

#### 5.1.1 Concept fonctionnel 1

**Concept final : Boules et bâtonnets**, car ils équilibrent simplicité, sécurité, et adaptation pour des enfants.

#### 5.1.2 Concept fonctionnel 2

**Concept final : Écran LCD Arduino**, pour sa précision et sa polyvalence dans l'affichage des mesures.

#### 5.1.3 Concept fonctionnel 3

**Concept final : Compression entre deux plaques**, car elle permet une évaluation progressive et contrôlée de la force appliquée.

### 5.2 Choix du concept final

#### 5.2.1 Matrice décisionnelle

Critères	Importance	Boules et bâtonnets	Écran LCD Arduino	Compression entre deux plaques
Simplicité	3	4	3	2
Sécurité	4	5	3	4
Adaptabilité	2	3	5	4
Précision	5	2	5	4
Durabilité	3	4	4	3
Coût	3	5	3	3
Total pondéré	4	66	65	61

## Analyse :

1. **Simplicité** : Le concept "Boules et bâtonnets" est simple à comprendre et à mettre en œuvre, donc il reçoit une note élevée. L'écran LCD est plus complexe à configurer, d'où une note plus basse.
2. **Sécurité** : Étant donné que le concept des boules et bâtonnets présente peu de risques, il obtient une note maximale. La compression entre plaques est plus sécuritaire qu'un écran, car elle permet de contrôler l'effort.
3. **Adaptabilité** : L'écran LCD Arduino est très adaptable grâce à ses nombreuses fonctionnalités programmables.
4. **Précision** : L'écran LCD obtient une note élevée pour sa capacité à fournir des mesures précises.
5. **Durabilité** : Les composants des trois concepts varient en durabilité, avec des notes ajustées en conséquence.
6. **Coût** : Le concept des boules et bâtonnets a un faible coût, tandis que l'écran LCD Arduino est plus onéreux à cause de ses composants électroniques.
7. **Faisabilité technique** : Les trois concepts sont techniquement réalisables, mais les boules et bâtonnets nécessitent moins de compétences techniques.

## Conclusion :

- Le concept des **Boules et bâtonnets** obtient le score total le plus élevé dans cet exemple (66), ce qui en fait potentiellement la meilleure solution en termes de simplicité et de coût.
- L'**Écran LCD Arduino** arrive juste après, en raison de sa grande précision et adaptabilité.
- La **Compression entre deux plaques** est également bien notée, surtout en termes de sécurité et de contrôle de la force.

### 5.2.2 Choix final

Après avoir évalué les avantages et inconvénients de chaque concept, la solution globale se concentre sur les éléments suivants :

1. **Boules et Bâtonnets** :
  - **Rôle** : Ce matériel de construction est le choix principal en raison de sa simplicité, de sa sécurité et de son coût abordable.
  - **Avantages** : Les élèves peuvent facilement assembler et démonter des structures, favorisant la créativité et l'expérimentation. Les extrémités arrondies minimisent le risque de blessures, ce qui est essentiel dans un cadre éducatif.

## 2. Appareil de mesure des forces (Écran LCD Arduino et Compression entre plaques) :

- **Rôle** : Ensemble, l'écran LCD Arduino et le système de compression entre plaques forment l'appareil de mesure des forces.
- **Écran LCD Arduino** :
  - **Avantages** : Offre des mesures précises de la force appliquée, affichant des informations en temps réel (force, poids, temps). Sa polyvalence enrichit l'expérience d'apprentissage.
- **Compression entre plaques** :
  - **Avantages** : Permet une application progressive et contrôlée de la force sur les structures, offrant une expérience interactive où les élèves peuvent observer directement les effets des forces appliquées.

### 5.2.3 Justification du Raisonnement

Le choix de cette solution globale est justifié par la nécessité d'équilibrer **l'accessibilité, la sécurité et l'apprentissage pratique** :

- **Accessibilité** : Les boules et bâtonnets sont faciles à manipuler et à acquérir, ce qui rend l'atelier réalisable dans un cadre scolaire.
- **Sécurité** : Le design des boules et bâtonnets, combiné à la méthode de compression contrôlée, assure que les élèves peuvent explorer les concepts de forces sans risques.
- **Apprentissage pratique** : L'intégration de l'appareil de mesure (écran LCD et compression entre plaques) permet aux élèves de comprendre de manière concrète les concepts de forces et de résistance. L'expérience interactive les aide à développer des compétences en observation et en analyse critique.

En somme, cette combinaison crée une expérience d'apprentissage complète et engageante, essentielle pour les élèves de la 3e à la 8e année, tout en favorisant une compréhension approfondie des principes physiques liés aux forces et aux structures.

## 6 Conclusions

En somme , toutes les etapes du document nous ont permis d'arriver à une solution globale , qui pourra nous idées lors de notre processus de conception.

## 7 Travail futur

Suivant la rédaction de ce document, nous allons devoir entre autres prototyper le concept choisi et effectuer plusieurs essais pour confirmer nos choix et tester nos affirmations. Le livrable E, qui suit ce livrable, sera aussi à faire prochainement. Il traite du plan du projet et du coût de celui-ci. Les livrables de prototypage (F, G et H) seront aussi à faire plus tard et se baseront sur le travail fait dans ce livrable.

