

Livrable G - Prototype II et rétroaction du client

Équipe FE22

Numéro étudiant

Nom et prénoms

300422409

Beugre Elisha-Marian

300420609

Cadieux Nicolas

300328794

H. Benchekroun Oumeyma

300436186

Hassan Shakur

300421546

Muller Eva

300419720

Shangai Marwah

Faculté de génie

GNG 1503

9 mars 2025

Table des matières

1- Introduction.....	3
2- Rétroaction du client.....	4
3- Développement du deuxième prototype.....	6
4- Analyse critique d'un composant ou d'un système.....	9
5- Collecte et intégration de la rétroaction des utilisateurs.....	13
6- Mise à jour des spécifications et de la conception.....	15
7- Planification du prochain prototype.....	17

1- Introduction

Dans le cadre du projet, notre objectif est de concevoir un atelier éducatif interactif, qu'on a basé sur un barrage hydroélectrique miniature, destiné aux élèves de la 4^e à la 7^e année. Ce projet vise à les sensibiliser aux énergies renouvelables, à encourager l'apprentissage actif et à démontrer l'impact de l'ingénierie sur les solutions environnementales.

Le Prototype II est une évolution du Prototype I, qui intègre des améliorations essentielles basées sur les retours du client. L'objectif principal de ce prototype est de valider la structure et la fonctionnalité du système, tout en assurant la sécurité et l'engagement des élèves. Contrairement au premier prototype, qui s'est concentré sur le test du mécanisme de production d'énergie, ce deuxième prototype vise à tester l'intégration des différents composants, incluant la turbine, le circuit électrique et la stabilité de la structure.

À la suite de plusieurs tests effectués sur le Prototype I, plusieurs améliorations ont été apportées afin d'optimiser la sécurité, la performance et la facilité d'utilisation du dispositif. Tout d'abord, l'eau a été remplacée par des billes afin d'éliminer tout risque électrique en classe, garantissant ainsi un environnement plus sûr pour les élèves. Ensuite, un mécanisme de démarrage avec une corde a été intégré pour faciliter l'initiation du mouvement de la turbine et permettre d'atteindre un RPM suffisant pour assurer l'éclairage de l'ampoule. Par ailleurs, la structure a été renforcée grâce à l'utilisation de matériaux plus solides et à l'ajout de nouveaux points de fixation, améliorant ainsi la stabilité et la durabilité du prototype. De plus, des ajustements ont été apportés au circuit électrique, notamment en simplifiant le branchement des composants afin de le rendre plus accessible aux élèves de 4^e et 5^e année.

2- Rétroaction du client

La rétroaction du client a joué un grand rôle dans l'amélioration de notre prototype. Lors de la démonstration du premier modèle, plusieurs remarques nous ont permis d'apporter quelques modifications au Prototype II. Parmi les aspects positifs relevés par le client, le concept a été jugé engageant et éducatif, suscitant un véritable intérêt chez les élèves, notamment en ce qui concerne la conversion de l'énergie et le fonctionnement de la turbine. En outre, l'atelier a été évalué comme étant conforme au programme éducatif, garantissant ainsi une intégration appropriée dans le contexte pédagogique. De plus, la sécurité a été un facteur déterminant dans l'évaluation, nous incitant à remplacer l'eau par des billes pour supprimer tout danger électrique et garantir une expérience plus sûre pour les étudiants et les professeurs.

Toutefois, notre client a révélé certains défis nécessitant des ajustements. Il est apparu que l'activité était trop complexe pour les élèves de 4^e et 5^e années, en particulier lors de l'assemblage du circuit électrique et de la turbine. Un autre problème concernait le manque de rotation suffisante de la turbine, ce qui limitait la production de lumière stable. De plus, nos clients ont mentionné le besoin d'un manuel d'instructions clair et détaillé afin de mieux guider les élèves et d'assurer une plus grande autonomie lors de l'atelier.

Afin de répondre à ces préoccupations, plusieurs améliorations ont été intégrées dans le Prototype II. Tout d'abord, un système de démarrage avec une corde a été ajouté pour initier la rotation de la turbine et garantir un RPM suffisant pour allumer l'ampoule. Ensuite, certaines pièces, comme le circuit électrique et la turbine, seront pré assemblées pour les élèves de 4^e et 5^e années, facilitant ainsi leur participation tout en conservant un aspect interactif. De plus, un guide d'instructions détaillé et illustré sera fourni expliquant chaque étape de l'assemblage de manière simple et intuitive. Enfin, des tests de robustesse et de

durabilité seront faits pour s'assurer que la structure peut supporter l'utilisation répétée en classe par les élèves.

Avec ces modifications, le Prototype II deviendra plus accessible, plus efficace et mieux adapté aux attentes de notre client. Ces modifications garantissent non seulement une meilleure efficacité énergétique du système, mais également un atelier plus interactif, engageant et conforme aux exigences pédagogiques, permettant ainsi une expérience d'apprentissage optimale pour les élèves de tous les niveaux.

3- Développement du deuxième prototype

L'objectif du prototype est de tester la faisabilité et la performance de la structure du tube et de la maison, en vérifiant leur solidité et en optimisant l'emplacement des trous pour un passage fluide des billes. Le système comprend deux tubes droits reliés par un tube courbé à 45°, dont l'emplacement du trou avant a été calculé avec précision pour garantir la stabilité et assurer un écoulement fluide des billes à la vitesse requise et pour ça nous avons 3D print une entonnoir aussi. Pour améliorer la connexion entre les tubes, nous avons conçu une pièce courbée imprimée en 3D. De plus, les schémas de la maison et de la turbine sont finalisés et prêts à être imprimés et assemblés.

La turbine:

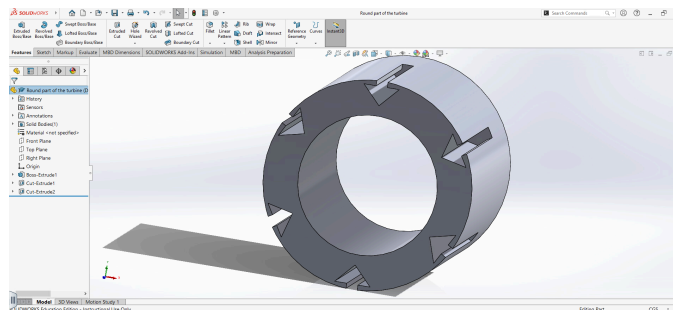


Figure 1: Moyeu de la turbine

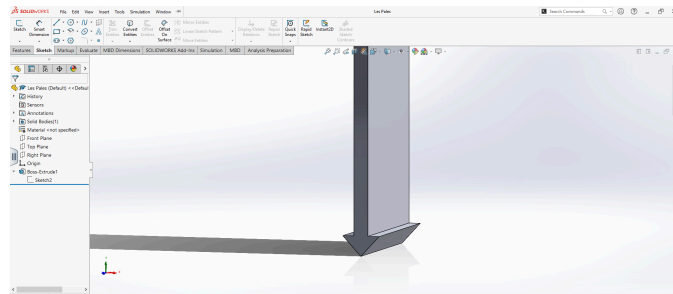


Figure 2: Pales de la turbine

Lien: <https://uolabsplus.uottawa.ca/portal/webclient/#/desktop>

L'entonnoir:

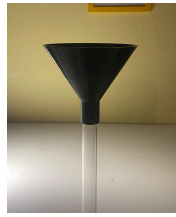


Figure 3: L'entonnoir

La structure:



Figure 4: Vue de face de la structure



Figure 5: Vue de haut de la structure



Figure 6: Vue arrière de la structure

Le tube connecteur:



Figure 7: Tube connecteur

Pour la fabrication du prototype nous avons utiliser le découpe laser pour la structure et pour la maison, SolidWorks/Onshape pour la turbin, et le tube connecteur qui ont ensuit était imprimer avec l'imprimante 3D.

4- Analyse critique d'un composant ou d'un système

Approche utilisée:

L'approche utilisée est une approche expérimentale. En fait, on a conçu chaque pièce étant utile pour ce prototype pour ensuite effectuer les tests. Les tests se sont effectués dans un contexte réel, expliquant donc pourquoi ce prototype est expérimental. Cette approche était plus avantageuse que les autres car la fonctionnalité de ce système dépendait de trop de détails pouvant être parfois difficiles à prendre en compte dans les autres méthodes. En fait, avec les autres méthodes on aurait forcément oublié certains facteurs importants à considérer et on aurait forcément eu de la difficulté à répliquer parfaitement le système dans son entièreté. Les facteurs à considérer sont si la bille peut passer dans l'attache selon la position des tubes, si la bille peut sortir du deuxième tube selon l'angle entre le tube et la table, si la bille perdait de la vitesse en rentrant en contact avec l'attache et la table, si la structure restait stable quand elle est manipulée etc. Par exemple, tester la stabilité de la tour tandis qu'elle est manipulée, aurait pu être difficile de manière analytique ou numérique suite au fait que celui qui va interagir avec la tour est un être humain et non une force précise. De plus, le coût de ce prototype n'était pas cher car elle comprenait l'utilisation de l'imprimante 3D, qui est gratuite et l'utilisation de la découpeuse laser qui comprend un coût presque négligeable.

Plan test prototype 2: Je refais un plan car l'ancien plan de prototypage ne représente pas le prototype qu'on a exécuté.

Tableau 1: Plan prototype 2

Type de test	Objectif	Méthodologie	Ressource	Critère de réussite	Planification
Test 1	Déterminer si la bille sort du système de tube	Assembler le système et laisser rouler la bille dans le système. Il faut modifier l'angle du deuxième tube à 30 degrés, 45 degrés et 60 degrés.	- Bille - 2 tubes - Entonnoir - Attache	La bille peut entrer et sortir du système.	- 8 mars -Makerspace
Test 2	Déterminer la stabilité de la structure	Mettre les tubes dans la tour.	Matériel du système de tube et matériaux pour la tour.	Sa prend moins de 5 essais pour un adulte afin d'assembler le système de tube dans la tour sans qu'elle s'écroule.	- 8 mars -Makerspace
Test 3	Déterminer l'efficacité de la tour.	Assembler la tour et chronométrer le processus.	Les 6 morceaux de la tour.	Sa prend moins de 3 minutes pour un adulte à assembler la tour.	- 8 mars -Makerspace
Test 4	Déterminer la vitesse de la bille dans le tube.	Laisser rouler la bille dans un tube à un angle de 45 degrés et chronométrer le temps que prend la bille afin de passer dans un tube au	- Une bille - Un tube - Chronomètre	La bille atteint une vitesse minimum moyenne de 1 m par seconde.	- 8 mars -Makerspace

Type de test	Objectif	Méthodologie	Ressource	Critère de réussite	Planification
		complet.			
Test 5	Tester la durabilité des matériaux de la tour.	Laisser la tour s'écrouler et analyser l'état des matériaux.	Les 6 morceaux de la tour.	Les 6 morceaux restent intacts après l'impact.	- 8 mars -Makerspace
Test 6	Durabilité de l'attache	Laisser les billes rouler dans le système et analyser l'état de l'attache après contact.	Système de tube.	L'attache reste intact après 5 essais	-8 mars -Makerspace

Résultats:

Tableau 2: Résultats des tests

Essais	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
1	Non	> 5	< 3	> 1	Oui	Oui
2	Non	> 5	< 3	> 1	Oui	Oui
3	Non	> 5	< 3	> 1	Oui	Oui
4	Non	> 5	< 3	> 1	Oui	Oui
5	Non	> 5	< 3	> 1	Oui	Oui

Interprétations des résultats et ajustements prévus:

Ce prototype présente plusieurs problèmes liés à la structure et au système de tubes avec les billes.

Tout d'abord, la bille ne passe pas dans l'attache et le deuxième tube, empêchant son impact avec la turbine. Cela est dû au contour du deuxième tube qui bloque la sortie, dans l'attache. Pour résoudre cela, le deuxième tube devrait contourner l'attache au lieu d'y entrer. De plus, un angle supérieur à 45° bloque la bille en raison du manque d'espace entre le tube et la table. Ajouter un embout au bout du tube permettrait de rediriger la bille sans obstruction.

La stabilité de la structure est également problématique, rendant son assemblage difficile. L'adhérence insuffisante entre les pièces peut être compensée par des incisions dans la base pour mieux fixer les murs. De plus, les trous d'entrée et de sortie des tubes étant trop larges, réduire leur taille améliorerait la stabilité du système. Un support interne supplémentaire aiderait aussi à mieux fixer les tubes. Enfin, ajouter des inscriptions en français sur chaque face assurerait le bilinguisme de l'activité.

Cependant, plusieurs aspects positifs sont à noter. L'entonnoir fonctionne bien, facilitant le passage des billes. La structure est simple à assembler, rendant l'activité accessible aux élèves de la 4e à la 7e année. Les billes se déplacent facilement dans les tubes, minimisant la perte d'énergie cinétique. Enfin, la solidité des matériaux garantit leur durabilité face aux chocs.

La vitesse des billes dans tout le système de tube n'a pas été testée en raison des modifications nécessaires, mais chaque problème identifié a une solution simple à mettre en œuvre.

5- Collecte et intégration de la rétroaction des utilisateurs

Afin d'améliorer notre conception, nous avons encore une fois fait une collecte de la rétroaction d'utilisateurs potentiels. Parmi ces utilisateurs, nous avons des enseignantes ainsi que des élèves qui nous ont fait part de leurs opinions.

1. Anne, élève de la 7^e année :

« Ça serait très amusant de faire ça en classe, en autant que je n'ai pas besoin de monter le circuit électrique avec le moteur. »

2. Isabelle, enseignante de mathématiques de la 7^e année :

« J'aime bien l'idée, mais il faudrait que le manuel d'instructions soit très clair et que les composantes ne soient pas trop difficiles à assembler, car les élèves peuvent se décourager très facilement. »

3. Annie, enseignante de la 4^e année :

« J'aime beaucoup le fait que chaque élève par équipe aura un rôle à faire dans l'atelier afin qu'ils se sentent inclus. »

4. Sezni, élève de la 7^e année :

« Je trouve l'idée super intéressante ! Ça a l'air amusant de voir comment on peut produire de l'électricité juste avec des billes qui font tourner une turbine. J'ai envie de comprendre

comment ça fonctionne exactement : est-ce que c'est le mouvement rapide ou la force des billes qui fait tourner la turbine ? Et comment cette rotation arrive-t-elle à allumer une ampoule ? »

À partir de ces rétroactions, nous pouvons en tirer plusieurs leçons. Premièrement, il faudra que le circuit électrique de notre atelier soit très facile à assembler pour les élèves plus vieux et déjà assemblé pour les plus jeunes. Ceci nous apporte au prochain point : le manuel d'utilisateur pour notre atelier devra être extrêmement clair et précis pour que les élèves ne perdent pas patience en faisant l'atelier. Enfin, il sera très important d'expliquer aux élèves comment les billes qui font tourner la turbine peuvent créer de l'électricité pour qu'ils apprennent à propos du concept d'énergies renouvelables et plus spécifiquement, l'hydroélectricité.

6- Mise à jour des spécifications et de la conception

Après avoir terminé et testé le deuxième prototype, nous avons fait certains ajustements à notre conception. Nous avons déterminé que la structure n'est pas assez stable, ce qui complique son assemblage. Les pièces ne tiennent pas bien entre elles, donc il serait utile de faire de petites entailles dans la base pour mieux fixer les murs. De plus, les trous par lesquels passent les tubes sont trop grands, ce qui fragilise l'ensemble. Pour améliorer la stabilité, il faudrait réduire la taille des trous et ajouter un support à l'intérieur pour mieux maintenir les tubes. La taille des trous de l'attache serait aussi à modifier pour permettre aux billes de passer fluidement. Enfin, pour que l'activité soit accessible en français et en anglais, il faudrait inscrire des indications en français et en anglais sur chaque face de la structure.

Après avoir effectué des tests avec le deuxième prototype, nos spécifications cibles restent les mêmes. Les voici ci-dessous.

Tableau 3: Exigences fonctionnelles

Critère de conception	Relation (=, < ou >)	Valeur	Unités	Méthode de vérification
Facilité d'animation	=	oui	s.o.	Essai
Respect du curriculum	=	oui	s.o.	Analyse
Temps de réalisation de l'activité	=	> 20 > 60	Minutes	Essai
En lien avec des enjeux environnementaux	=	oui	s.o.	Analyse
Interactive	=	oui	s.o.	Analyse
Engageante pour un groupe d'âge entre la 4e à 7e année	=	oui	s.o.	Analyse, Essai

Tableau 4: Exigences non fonctionnelles

Critère de conception	Relation (=, < ou >)	Valeur	Unités	Méthode de vérification
Esthétique	=	oui	s.o.	Essai
Accessibilité et bilinguisme	=	oui	s.o.	Essai
Sécuritaire pour les jeunes	=	oui	s.o.	Essai
Durabilité	>	4	an	Essai

Tableau 5: Contraintes

Critère de conception	Relation (=, < ou >)	Valeur	Unités	Méthode de vérification
Transportabilité	<	10	kg	Analyse
Coût	<	50	\$ CAD	Estimation, Vérification finale
Dimensions	<	68	L	Analyse

7- Planification du prochain prototype

Voici un tableau de planification d'essais de notre prototype 3.

Tableau 6: Planification d'essais pour le prototype 3

Numéro de test	Assomptions testées	Objectif du test	Description du test	Critère d'arrêt	Type de prototype	Fidélité du produit	Durée et date du test
1	Le mouvement des billes fournit suffisamment d'énergie mécanique pour générer de l'électricité avec l'aide de l'Arduino.	Vérifier la faisabilité de l'idée principale : transformer le mouvement des billes en énergie suffisante pour alimenter une ampoule..	Faire passer un certain nombre de billes (p. ex. 3, 5, 7) et mesurer la tension/puissance produite avec l'Arduino. Observer si l'ampoule s'allume de manière claire et stable.	- L'ampoule s'allume de manière claire - Stable pendant au moins 10 secondes.	Physique, complet.	Haute	- 14 mars 2025 - 30 minutes
2	Le design de la turbine est suffisamment robuste pour résister à plusieurs séances de manipulation par des élèves. Les billes n'endommagent	Évaluer la robustesse de la turbine et sa facilité d'utilisation pour des groupes d'élèves.	Faire manipuler le prototype par un petit groupe d'étudiants. Observer le comportement de la turbine lors de l'insertion répétée de billes à différentes vitesses et intensités.	La turbine reste intacte après l'insertion des billes à plusieurs vitesses différentes.	Physique, complet.	Haute	- 14 mars 2025 - 40 minutes

	t pas le mécanisme ni ne se coïncent.						
3	Les élèves comprennent facilement le principe de conversion d'énergie avec ce dispositif. L'activité suscite l'enthousiasme et l'engagement des élèves	Vérifier la clarté pédagogique et l'attractivité de l'atelier.	Présenter l'atelier à un petit groupe d'élèves. Demander à chacun d'expliquer, après l'expérience, ce qu'il a compris de la production d'électricité et de l'aspect environnemental.	- Si plus que 80 % des élèves peuvent expliquer le fonctionnement de base. - Si plus que 80 % des élèves considèrent l'activité intéressante sur un sondage rapide.	Physique, complet.	Haute	- 15 mars 2025 - 2 heures
4	Le dispositif peut être facilement installé et désinstallé dans un environnement scolaire. Les consignes de sécurité sont	Contrôler la praticité et la sécurité lors de l'installation et de l'utilisation de l'atelier.	Simuler l'installation du prototype dans une salle de classe. Vérifier la stabilité du montage, l'accessibilité des câbles et le risque d'accidents. Faire manipuler le prototype pendant un temps	- Si le temps d'installation de l'atelier est inférieur à 25 minutes. - Lorsque toutes les consignes de sécurité seront	Physique, complet.	Haute	- 15 mars 2025 - 3 heures

	suffisantes.		donné en respectant des consignes de sécurité.	respectées.			
--	--------------	--	--	-------------	--	--	--