

Livrable H – Prototype III et rétroaction de clients

Équipe FE22

<u>Numéro étudiant</u>	<u>Nom et prénoms</u>
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

23 mars 2025

Table des matières

1 – Introduction.....	3
2 – Développement du troisième prototype	4
3 – Plan d’essai et résultats	6
4 – Collecte et intégration de la rétroaction des utilisateurs	14
5 – Mise à jour des spécifications et de la conception	16
6 – Conclusion.....	19

1 – Introduction

Ce document présente le développement de notre troisième prototype, une étape cruciale dans la concrétisation de notre solution finale. Après avoir exploré des composantes ciblées à travers nos deux premiers prototypes, notre objectif ici est de démontrer la faisabilité d'un système complet, stable et fonctionnel. Ce prototype intègre l'ensemble des éléments mécaniques, électriques et structurels nécessaires à la réussite de notre atelier. En le concevant, nous avons mis à profit les leçons tirées de nos essais antérieurs pour résoudre des problèmes techniques et améliorer la stabilité et l'efficacité de notre solution. L'objectif principal de cette section est donc de documenter les choix de conception réalisés, de justifier les ajustements apportés et de démontrer comment ces décisions nous rapprochent d'un produit final prêt à être utilisé dans un contexte scolaire.

2 – Développement du troisième prototype

À la suite de nos deux premiers prototypes qui portaient sur des composantes ciblées, nous avons développé un troisième et dernier prototype qui est une version complètement fonctionnelle de notre solution. Pour débiter, nous avons imprimé en 3 dimensions une turbine qui est capable de se faire tourner par les billes. En fait, lors de notre premier prototype qui comprenait une turbine faite en carton, nous sommes arrivées à la conclusion qu’il fallait raccourcir les aubes de la turbine afin que les billes puissent la faire tourner avec plus de facilité. Nous avons également rapetissé la taille complète de la turbine, incluant la partie du milieu, pour la rendre plus légère.

Ensuite, nous avons amélioré le design de la structure à travers laquelle les billes passent. Pendant le deuxième prototype, nous avons créé une structure de la forme d’un prisme rectangulaire pour tenir le tube qui tient les billes. Cette structure était solide, mais pouvait tomber relativement facilement. Pour le prototype trois, nous avons donc opté pour un design en forme de « L », pour améliorer la stabilité. La partie en hauteur du “L” a la même fonctionnalité que le prisme rectangulaire du prototype deux et la partie en largeur du “L” sert de boîte pour attraper les billes. De plus, nous avons amélioré le design de l’attache pour les deux tubes afin que les billes puissent passer à travers rapidement.

Troisièmement, nous avons établi notre circuit électrique qui permet de transporter l’énergie créée par la turbine avec le moteur jusqu’à une LED pour l’allumer. À partir de calculs que nous avons effectués auparavant, nous avons réalisé que les billes ne pourraient pas tourner

la turbine assez rapidement pour créer un voltage minimum pour allumer la LED. C'est pour cette raison que nous avons décidé d'utiliser un Arduino pour régler ce problème. En fait, nous avons créé un code qui, lorsqu'il détecte un voltage minimum d'environ 0,1 volts qui provient de la turbine, envoie un voltage assez élevé pour le type de LED qui est attaché au circuit. De plus, lorsque l'Arduino détecte un voltage plus haut d'environ 0,2 volts, il renvoie un voltage encore plus élevé à la LED pour qu'elle s'allume encore plus fort.

En quatrième lieu, nous avons fait la découpe laser d'une petite maison qui va contenir la LED. Le but de cette maison est de rendre l'activité plus attrayante et engageante pour les élèves qui devront l'assembler.

Dernièrement, lors de notre premier prototype, notre plan était de reposer le tronc de la turbine dans des bearings, mais pour ce prototype, nous avons tout simplement mis la turbine sur le tronc du moteur pour simplifier les choses. L'objectif de ce prototype était d'avoir un système complètement fonctionnel qui est capable d'allumer la LED et qui est très proche en fidélité à notre conception finale.

3 – Plan d’essai et résultats

Après avoir terminé le développement du troisième prototype, nous avons effectué plusieurs tests et essais pour vérifier la fonctionnalité de notre système. Voici un tableau qui contient les plans des tests pour le prototype trois.

Tableau 1 : Plan des tests

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 8 secondes.	Physique, complet.	Haute	20 mars 2025, 30 minutes.

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
2	Le design de la turbine est suffisamment robuste pour résister à plusieurs séances de manipulation par des élèves. Les billes n'endommagent pas le mécanisme ni ne se coincent.	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	19 mars 2025, 40 minutes.
3	Le dispositif peut être facilement installé et désinstallé dans un environnement	Contrôler la praticité et la sécurité lors de l'installation.	Simuler l'installation du prototype dans une salle de classe.	– Si le temps d'installation de l'atelier est inférieur à 15 minutes. –	Physique, complet.	Haute	20 mars 2025, 3 heures.

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
	scolaire. Les consignes de sécurité sont suffisantes.	et de l'utilisation de l'atelier.	Vérifier la stabilité du montage, l'accessibilité des câbles et le risque d'accidents. Faire manipuler le prototype pendant un temps donné en respectant des consignes de sécurité.	Lorsque toutes les consignes de sécurité seront respectées.			
4	Les billes s'écoulent de façon constante lorsqu'on les insère dans l'entonnoir.	Vérifier l'efficacité du système et la facilité d'utilisation	Nous allons mettre toutes les billes dans l'entonnoir en même temps	Lorsque les billes réussissent à passer à travers le système de	Physique, complet.	Haute	18 mars 2025, 40 minutes.

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
		par des élèves de la 4 ^e à la 7 ^e année.	pour voir si elles peuvent passer par le tube avec un flow constant.	tubes avec un flow constant.			
5	La structure reste intacte et ne s'effondre pas lorsqu'on fait passer les billes à travers.	Vérifier la solidité et la stabilité de notre système.	Nous allons mettre toutes les billes dans le système et allons voir si la structure reste solide et intacte.	La structure est solide et ne bouge pas du tout lors de l'insertion des billes.	Physique, complet.	Haute	18 mars 2025, 30 minutes.

Pour chacun de ces tests, nous avons effectué cinq essais différents pour s'assurer que les résultats sont concluants. Voici un tableau qui indique les résultats de nos tests.

Tableau 2 : Résultats des tests

Essais	Test 1 (Est-ce que la LED s'allume pendant au moins 8 secondes ?)	Test 2 (Est-ce que la turbine reste intacte après l'insertion des billes ?)	Test 3 (Est-ce que le temps d'installation de l'atelier est inférieur à 15 minutes ?)	Test 4 (Est-ce que les billes sortent du système avec un flow constant ?)	Test 5 (Est-ce que la structure est solide et ne bouge pas ?)
1	8 s	Oui.	10 min	Non.	Non.
2	9 s	Oui.	9 min	Non.	Non.
3	10 s	Oui.	8 min	Non.	Non.
4	8 s	Oui.	9 min	Non.	Oui.
5	8 s	Oui.	7 min	Non.	Non.

À la suite de nos tests, nous pouvons trouver des aspects positifs et négatifs à propos de notre prototype. Tout d'abord, notre circuit électrique et notre code Arduino fonctionnent parfaitement. La LED s'allumait lorsque la turbine tournait grâce aux billes. Toute seule, la turbine pouvait seulement créer environ 0,13 volts en moyenne, comme nous l'avions prévu, et l'Arduino envoyait assez de volts à la LED pour l'allumer. Ensuite, nous avons réussi à créer une turbine assez solide pour résister à l'impact des billes. En envoyant des billes à plusieurs vitesses

jusqu'à la turbine, elle est restée intacte et solide. De plus, nous avons testé le temps d'installation de l'atelier complet, et ceci nous a pris moins de 11 minutes à chaque essai. Ce montant de temps est parfait et ceci démontre que l'atelier sera assez simple à construire pour les élèves de la 4^e à la 7^e année. Lors du quatrième test, nous avons testé si les billes passaient dans l'entonnoir et allaient dans le tube avec une vitesse constante. Ce test n'a pas été un succès, car il arrivait des moments où les billes restaient coincées entre elles dans l'entonnoir, ce qui empêchait un flow constant. Lorsque ceci se produisait, il fallait tout simplement mettre nos doigts dans l'entonnoir pour secouer les billes pour qu'elles se libèrent. Afin de réparer ce problème, nous pourrions opter pour un entonnoir avec un angle plus raide (45-60 degrés) pour favoriser le glissement des billes. Dernièrement, la structure en forme de « L » qui tient les tubes et les billes n'est pas assez solide. À vrai dire, lorsque nous avons effectué un test en mettant toutes les billes, le bout de la structure qui retient les billes, après qu'elles sont passées par la turbine, s'est enlevé par la force des billes qui le frappait. Afin de résoudre ce problème, nous pouvons changer la taille et la position des encoches dans le MDF pour que les morceaux tiennent mieux ensemble.

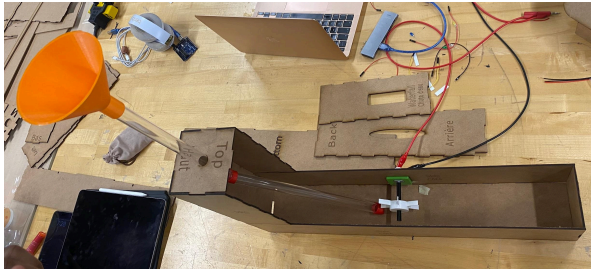


Figure 1 : Structure

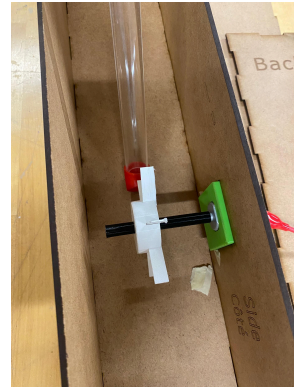


Figure 2 :

Tubrine



Figure 3 : Maison

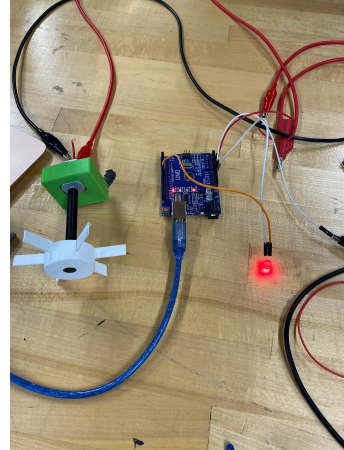


Figure 4 : Circuit

4 – 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, des élèves ainsi que des parents d'élèves qui nous ont fait part de leurs opinions après que nous leur ayons montré notre troisième prototype.

1. Anne, élève de la 7^e année :

« J'aimerais bien faire cette activité en classe, mais on dirait que la structure est faite de carton et les couleurs du plastique sont bizarres. C'est un peu laid. »

2. Danielle, enseignante de la 4^e année :

« J'aime beaucoup l'idée. Les élèves seraient très intéressés d'apprendre comment l'électricité peut être créée. Ça serait bien si le circuit était déjà préparé pour les élèves, car je pense qu'ils vont se décourager rapidement en essayant de le recréer à partir des instructions fournies. »

3. Ariane, mère d'une élève de la 7^e année :

« Ça semble être un atelier intéressant et éducatif pour les jeunes. Je ne comprends pas comment le moteur convertit l'énergie créée par la rotation de la turbine en électricité. Ça serait peut-être bien d'expliquer ce concept aux élèves. »

À partir de ces rétroactions, nous pouvons en tirer plusieurs leçons. Pour débiter, nous devons maintenant nous concentrer à rendre notre atelier plus attrayant pour les jeunes. En effet, les élèves ne seront pas intéressés à faire notre activité si elle n'est pas captivante à l'œil. Pour résoudre ce problème, nous pourrions peindre la structure pour que celle-ci représente une rivière qui s'écoule dans un barrage hydroélectrique. Ceci serait aussi une bonne façon d'aider les élèves à faire des liens entre les billes qui font tourner une turbine et le concept de l'hydroélectricité. Ensuite, comme mentionné auparavant, il sera très important que le circuit électrique soit déjà conçu pour les élèves plus jeunes de la 4^e et 5^e année, car ça va être trop compliqué pour eux de recréer le circuit électrique même avec des instructions claires. Finalement, ce serait peut-être une bonne idée d'essayer d'expliquer comment le moteur génère de l'électricité à partir de l'énergie mécanique aux élèves plus vieux de la 6^e et 7^e année pour ceux qui sont curieux. D'autre part, ce concept est probablement trop poussé pour les élèves plus jeunes, alors on ne devrait pas passer du temps à leur expliquer cela.

5 – Mise à jour des spécifications et de la conception

Après avoir testé et analysé le troisième prototype, nous avons fait certains ajustements à notre conception détaillée. Premièrement, nous avons changé la forme de la structure pour qu'elle soit plus stable et qu'elle puisse attraper les billes. Nous avons également choisi d'attacher la turbine à un tronc, qui lui est attaché directement sur le tronc de moteur pour simplifier les choses. Au début, notre plan était d'attacher le tronc de la turbine dans des bearings, et une courroie irait du tronc de la turbine au tronc du moteur pour les faire tourner en même temps. On a réalisé que c'était difficile de garder la courroie à un endroit sans qu'elle glisse le long des troncs et que ceci s'avérait trop risqué. Ensuite, avec le changement de la forme de la structure, nous avons réalisé qu'on pouvait positionner le moteur directement dans le mur d'un des côtés de la structure afin que la turbine soit à la hauteur et à la distance parfaites et qu'elle ne se déplace pas. Les autres composantes de notre conception restent inchangées et nos spécifications aussi. Voici des tableaux de nos spécifications correspondantes.

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

Critère de conception	Relation (=, < ou >)	Valeur	Unités	Méthode de vérification
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 4 ^e et la 7 ^e 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	Années	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

6 – Conclusion

Ce troisième prototype marque une étape clé dans la conception de notre atelier éducatif. En intégrant une turbine fonctionnelle, un circuit électrique appuyé par un Arduino et une structure optimisée, nous avons démontré la faisabilité d'une activité interactive qui illustre clairement la conversion d'énergie mécanique en électricité. Cette solution répond aux besoins du bureau des programmes de sensibilisation en génie de l'Université d'Ottawa, en offrant une activité stimulante, pratique et accessible pour des élèves de la 4^e à la 7^e année. En lien avec le curriculum de sciences de l'Ontario, notre prototype permet d'aborder des concepts clés comme les énergies renouvelables et la transformation de l'énergie, dans un format engageant et facilement transportable. Il représente un pas important vers une activité complète, éducative et prête à être utilisée en salle de classe.