

Livrable F - Prototype I 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

2 mars 2025

Introduction

Dans ce livrable, vous trouverez les réflexions que notre équipe a effectuées par rapport à la rétroaction du client, des photos du développement de notre tout premier prototype ainsi que son analyse et les résultats de ses tests. De plus, vous trouverez de la rétroaction de la part d'utilisateurs potentiels par rapport à notre premier prototype et à nos idées de conceptions. Nous expliquerons aussi les changements que nous avons apportés à notre concept détaillé et le plan pour notre deuxième prototype.

1. Rétroaction du client

Lors de notre deuxième rencontre avec le client, nous avons présenté nos concepts principaux avec leurs trois sous-systèmes. Nous avons reçu de la rétroaction que nous avons pu appliquer pour améliorer notre concept. Premièrement, nous avons présenté notre premier concept, qui était de créer une mini-éolienne qui produit de l'énergie pour allumer une ampoule dans une petite maison. Notre client nous a avertis que leur compagnie avait déjà des ateliers très similaires à ce concept, alors nous avons abandonné l'idée, car un critère important est l'originalité. Ensuite, le deuxième concept que nous avons présenté était de faire un jeu de société. Lors du jeu, il y aurait des cases questions où les élèves auraient des questions liées à l'environnement auxquelles répondre pour avancer à la prochaine case. D'après notre client, ce concept respectait la plupart des critères, comme la sécurité, le respect du curriculum, le temps de réalisation de l'activité, etc. Par contre, il a mentionné que cette activité ne serait pas très engageante et interactive pour les élèves plus jeunes. De plus, ce concept n'était pas très original. Troisièmement, le dernier concept que nous avons partagé avec le client était de créer un mini barrage hydroélectrique qui utilise le courant de l'eau pour faire tourner une turbine qui, elle, produit de l'électricité pour allumer une ampoule. Notre client a aimé cette idée à part le fait qu'il y aurait de l'eau proche des circuits électriques. Non seulement ceci pourrait faire des dégâts d'eau à l'intérieur d'une salle de classe, ceci pourrait être dangereux pour les enfants qui risquent de se faire électrocuter. Après avoir réfléchi en groupe par rapport à la rétroaction du client, nous sommes arrivés à une solution. Afin de garder de l'originalité à notre concept, nous avons décidé de faire le barrage hydroélectrique. De plus, pour assurer la sécurité et la propreté de la salle de classe dans laquelle notre atelier serait animé, nous avons décidé d'utiliser des billes au lieu de l'eau pour faire tourner la turbine. Ce concept respecte tous nos critères et serait très engageant et interactif pour les jeunes de la 4^e à la 7^e année. À la fin de la rencontre avec le client, il nous a dit qu'il est important de garder l'activité assez simple. Nous avons jugé que ce concept était assez simple et nous allons nous concentrer sur l'allumage de l'ampoule. Ceci est quand même un critère que nous allons garder en tête pour tous les prochains prototypes.

2. Développement du premier prototype

Pour le premier prototype, on a dû dévier du plan initial. En fait, au livrable E on a spécifié que le prototype 1 avait comme objectif de mesurer la performance de la turbine et du moteur pour allumer la lampe LED. Mais, on a réalisé que, afin de faire ces mesures, il fallait être capable de concevoir un système ayant une turbine et un moteur. Cela requiert déjà beaucoup d'analyse et d'effort. Donc, on a dû réduire le prototype 1 à la conception d'un système ayant une turbine faisant tourner un moteur. Le prototype requiert 2 mesures précises à déterminer. La première, concerne si on est capable de faire fonctionner le moteur pendant plus de 1 minute. La deuxième mesure concerne la stabilité du système, donc savoir si on est capable de concevoir un système où chaque composante du système ne bouge pas pour plus de 2 millimètres, après chaque essai. La stabilité est une composante cruciale à considérer car notre projet va utiliser plusieurs attaches à compression et si celles-ci n'ont pas les bonnes dimensions, notre système pourrait être très instable et alors non fonctionnel.

Il y a plusieurs tâches qui accompagnent ce prototype, celles-ci comprennent, concevoir les pièces du prototype en 2d sur Inkscape, acheter des pièces nécessaires, découper à la découpeuse laser les pièces conçues sur Inkscape, assembler le système et faire une série de 5 tests nous permettant de prendre les 2 mesures précisées ci-dessus. Ce prototype nous permettra d'avoir une idée générale du fonctionnement de la turbine et du moteur, afin de pouvoir faire de multiples optimisations, pour atteindre les niveaux de rpm et de voltage désirés.

Cette phase de prototypage a commencé le 24 février et s'est terminée le 2 mars.

3. Analyse critique d'un composant ou d'un système

Pour cette partie du livrable on va présenter divers calculs qui nous ont permis de déterminer si le projet était possible. Si les calculs nous avaient montré que le projet n'était pas possible, on aurait pas pu poursuivre avec le premier prototype.

Calculs:

Calcul du courant électrique:

$$P = UI$$

P=Puissance en Watts=0,02-0,0W

U=Tension en volts =1,8-2 volts

I=Courant en Ampère =?

$$I = P/U = 0,04/2 = 0,02A$$

Calcul de l'énergie nécessaire du système (pour allumer la lampe pour 5 secondes):

$$E_e = P \times t = 0,04 \times 5 = 0,2 \text{ Joules}$$

Énergie potentiel optimale d'une bille:

$$E_p = mgh$$

$$E_p = (0,00378 \text{ Kg})(9,81 \text{ m/s}^2)(0,5 \text{ m})$$

$$E_p = 0,018522 \text{ Joules}$$

Montant de bille nécessaire (en condition parfaite):

$$E_e/E_p = 0,2 \text{ Joules} / 0,018522 \text{ Joules} = 10,8 \text{ billes (11 billes)}$$

Rc motor nécessite 9100 rpm pour faire 6 volts donc, $9100/(6/2) = 3033 \text{ rpm}$

Rc motor nécessite, 3033 rpm

Vitesse de la bille à l'impact:

$$(2gh)^{0.5} = 3,13 \text{ m/s}$$

$$w_f = L_{initial}/I_{total} = m_{bille} v_{impact} R / I_{Hélice} + m_{bille} R^2$$

$$I_{\text{hélice}} + m_{\text{bille}} R^2 = 5 \times 10^{-5} + 0,00378 \times 0,01 = 5 \times 10^{-5} + 3,78 \times 10^{-5} = 8,78 \times 10^{-5} \text{ kg m}^2.$$

- $\omega_f \approx \frac{1,18 \times 10^{-3}}{8,78 \times 10^{-5}} \approx 13,4 \text{ rad/s}.$

- En tours par minute:

$$\text{RPM} = \frac{\omega_f}{2\pi} \times 60 \approx \frac{13,4}{6,283} \times 60 \approx 128 \text{ tr/min}.$$

Analyse des résultats:

Selon les calculs, le moteur doit atteindre un rpm de 3000, afin de produire 2 volts d'énergie. Voulant donc dire que si la turbine a un gear ratio de 8:1 comparé au moteur, elle doit seulement atteindre, un rpm de 375. Cela n'est pas possible car le rpm de la turbine peut seulement atteindre les 128 rpm avec les billes. Mais c'est totalement possible si on ajoute un autre mécanisme, pour faire tourner la turbine. Cet autre mécanisme pourrait être une corde qui fait tourner la turbine. Un tel mécanisme permet facilement permettre à la turbine d'atteindre le rpm nécessaire. Voulant donc dire que les billes seraient seulement utilisées afin de conserver l'énergie cinétique de la turbine. Une telle solution rend notre projet possible suite au fait qu'on utilise plus que les billes. Concernant, le montant de bille, on devrait avoir assez de bille, car selon les calculs, si 10 billes frappent la turbine, on peut avoir le niveau d'énergie nécessaire afin d'allumer la lumière. Donc, même en considérant que seulement $\frac{1}{5}$ des billes frappent la turbine on aurait quand même assez d'énergie avec un sac de 60 billes.

4. Documentation du plan d'essai et des résultats

Plan de prototypage-

Type de test	Objectif	Méthodologie	Ressource	Critère de réussite	Planification
--------------	----------	--------------	-----------	---------------------	---------------

Test 1	Déterminer si notre système est fonctionnel	Construire le système et faire fonctionner la turbine à l'aide de ma main.	Matériaux réutilisables et chronomètre	Fonctionner pour plus de 60 secondes	2 mars, makerspace
Test 2	Déterminer si notre système est stable.	Faire fonctionner le système pour 1 minute et ensuite mesurer la position des pièces à l'aide de ma règle	Matériaux réutilisables, chronomètre et règle.	Après chaque test de 60 secondes, les composantes n'ont pas bougé pour moins de 2 mm	2 mars makerspace

Images:



Résultats pour les 2 mesures-

Essais	Stabilité	Temps de fonctionnement
1	<2mm	> 60 secondes
2	<2mm	>60 secondes
3	<2mm	>60 secondes
4	<2mm	>60 secondes
5	<2mm	>60 secondes

Analyse:

D'après ces résultats on peut constater que les objectifs concernant la stabilité et le fonctionnement ont été atteints. Cela signifie que mes attaches à compressions ont les bonnes dimensions. Donc, pour le 2e prototype on peut se concentrer sur le niveau de rpm et de voltage atteint à l'aide de notre système. D'ailleurs, pendant mes 5 tests on a constaté que la turbine avait un niveau faible de rpm. Cette observation peut être dû à plusieurs choses dont un mauvais bearing, de la friction entre les composantes en rotation et un poids sur élevé de la turbine. Mais les changements qui vont suivre se produiront, pendant le 2e prototypage. Il est aussi important de préciser que le deuxième prototypage va comporter le prototype 1 et 2 comme indiqué comme indiqué dans le livrable E, suite au fait que le premier prototype a dû être déplacé.

5. Collecte et intégration de la rétroaction des utilisateurs

1. Enseignante

« Votre projet semble bien répondre aux exigences et est structuré de manière engageante pour les élèves. J'apprécie l'aspect interactif et l'accent mis sur les solutions environnementales. Peut-être pourriez-vous ajouter une partie où les élèves testent eux-mêmes différentes variables pour rendre l'atelier encore plus expérimental ? Aussi, assurez-vous que les consignes soient claires et adaptées au niveau de compréhension des élèves de 4^e à 7^e année. »

2. Élève de 4e année

« Cela a l'air amusant à faire et comme j'aime la science, je pense que je l'aimerai, mais j'aimerais bien le colorier. »

3. Élève de 4^e année

« Ça semble intéressant, mais je ne comprends pas vraiment comment ça va fonctionner. »

4. Élève de 7e année

« C'est intéressant de voir comment l'ingénierie aide l'environnement. J'aime bien que ce soit interactif, mais ce serait bien d'avoir plus d'explications sur comment l'énergie est transformée. Peut-être pourriez-vous montrer comment cela pourrait être utilisé dans la vraie vie ? »

5. Étudiant universitaire

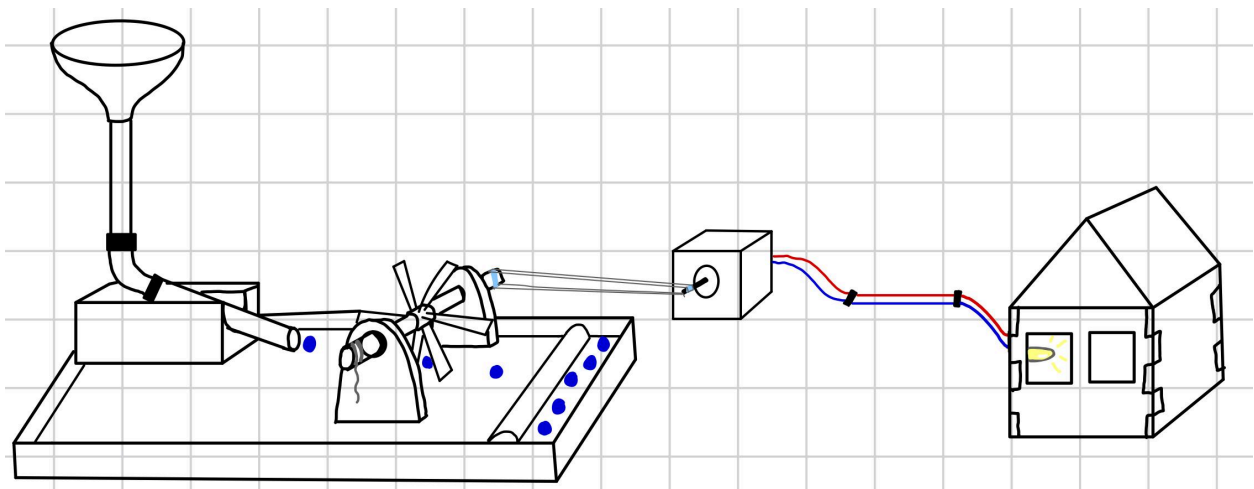
« Le projet est bien conçu et semble bien répondre aux critères demandés. Mais comment allez-vous expliquer l'énergie renouvelable aux enfants de manière à ce qu'ils la retiennent ? Et aussi, comment allez-vous leur montrer comment la construire ? Allez-vous simplement leur donner un document à lire ? Parce que si c'est le cas, je ne pense pas qu'ils trouveront cela amusant, surtout les plus jeunes. »

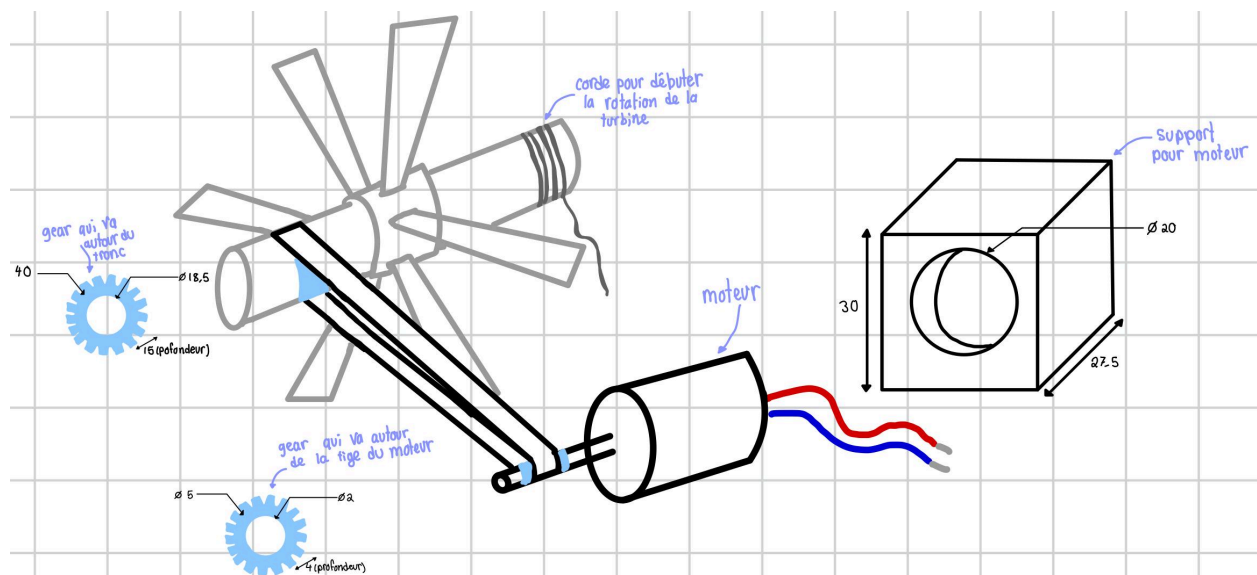
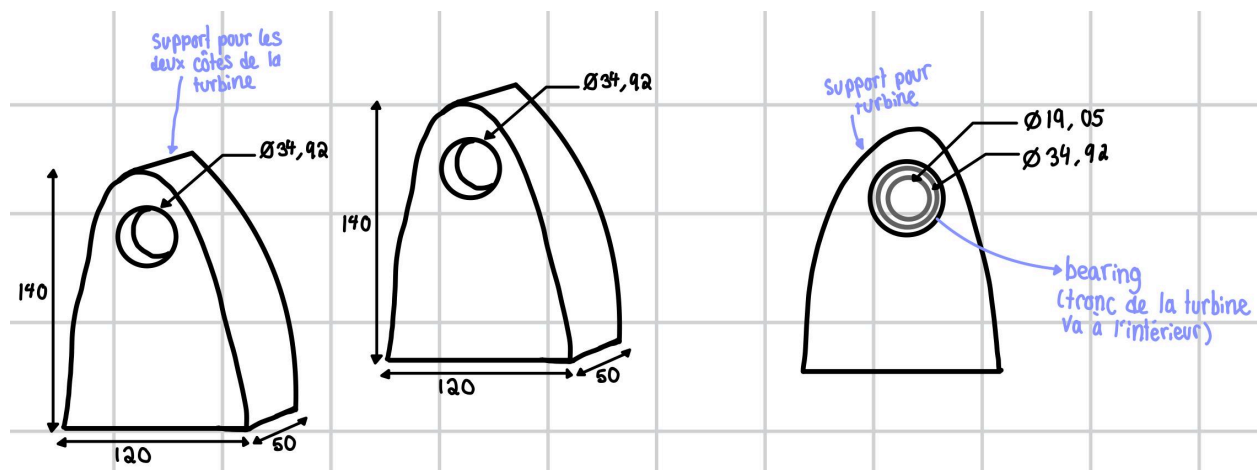
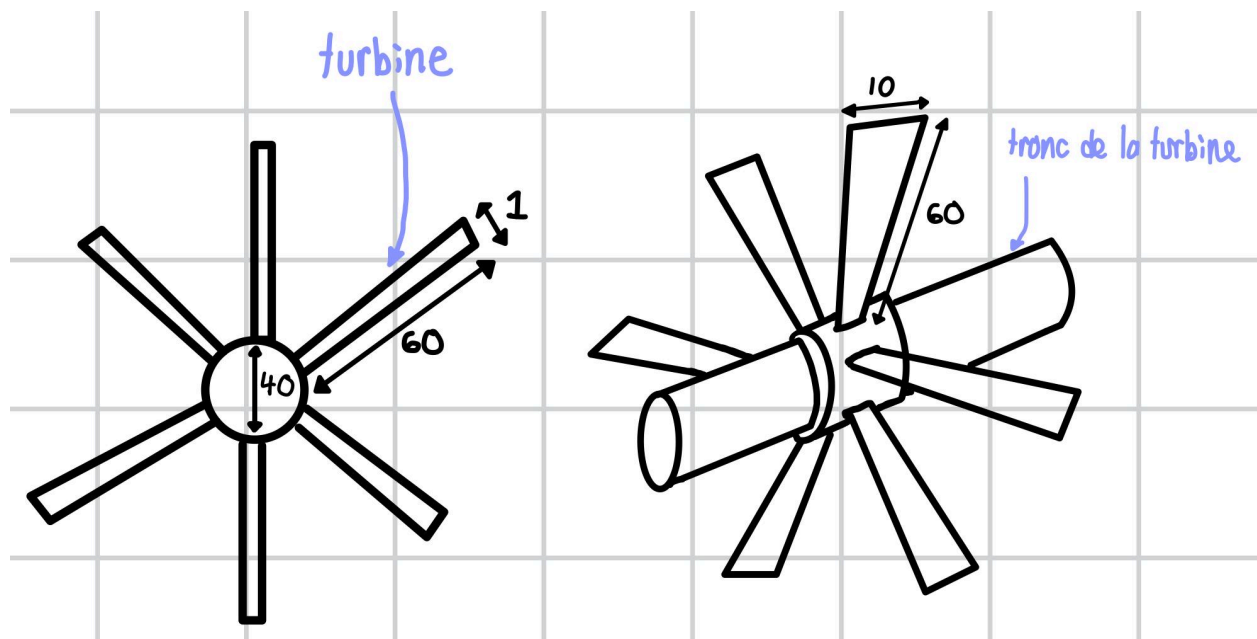
6. Parent

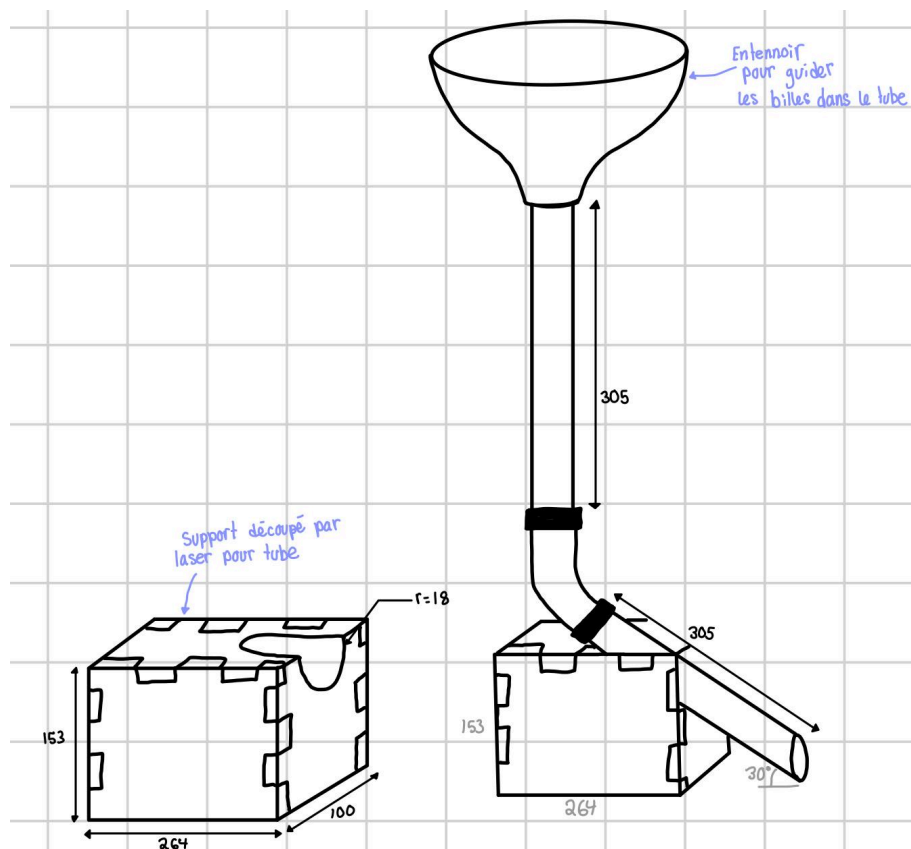
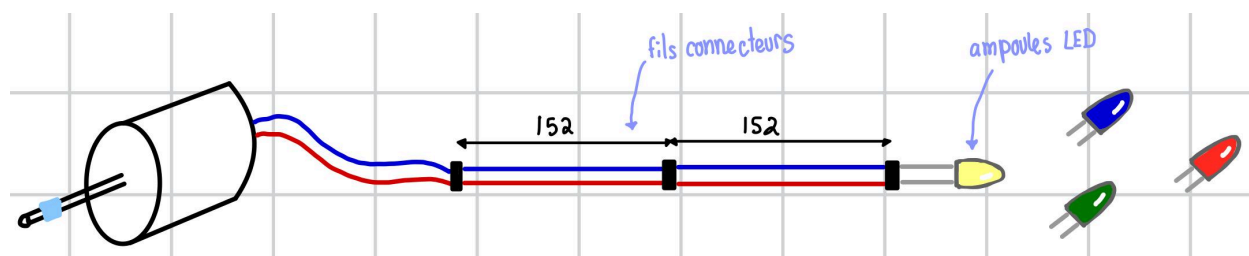
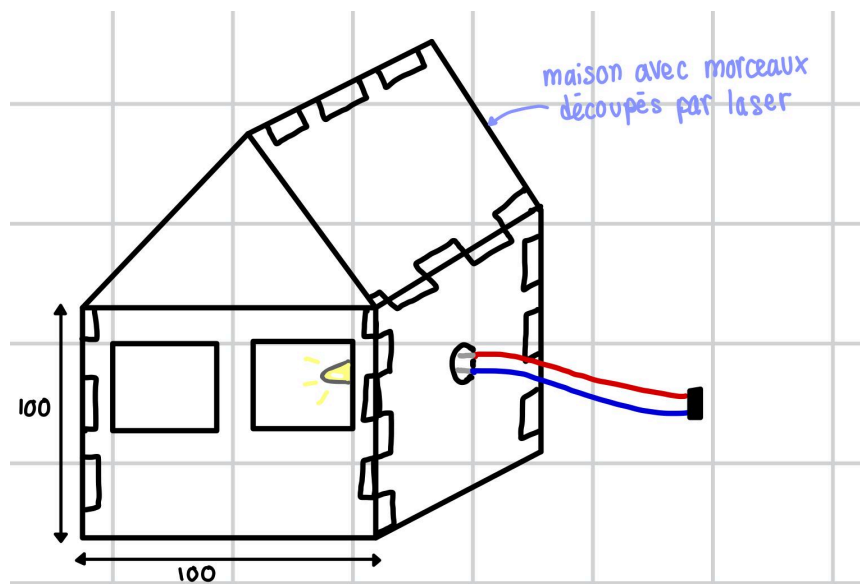
« Je trouve que c'est une excellente initiative pour sensibiliser les jeunes aux enjeux environnementaux, mais je pensais aussi que, comme c'est fait par des ingénieurs, vous devriez peut-être intégrer ou parler de choses dans cet aspect également pour inspirer les jeunes. »

6. Mise à jour des spécifications et de la conception

Après avoir terminé et testé le premier prototype, nous avons fait certains ajustements à notre conception. Nous avons déterminé que pour avoir un rpm assez élevé pour créer du voltage avec le moteur, il faudra ajouter des excellents bearings entre le tronc de la turbine et les supports pour permettre une rotation facile. De plus, en effectuant des calculs, nous avons réalisé que les billes ne pourront pas faire tourner la turbine par elles-mêmes pendant un certain montant de temps. Pour régler ce problème, nous avons décidé d'ajouter une corde qui va être enroulée autour du tronc de la turbine. En tirant la corde, cela va débiter la rotation de la turbine, et maintenant les billes vont être assez pour maintenir cette rotation. Par conséquent, nous avons ajouté des pièces à notre liste de nomenclature des matériaux. Ci-dessous se trouvent des dessins de notre nouvelle conception détaillée.







Voici des liens pour aller voir certaines pièces sur Onshape :

Fondation de la turbine :

<https://cad.onshape.com/documents/11d15f7ae3533f093abfef95/w/70f0e537b4aad4c5c fb9f575/e/6a4001bdec6d7f5d40e5a8b6>

Gear sur le routeur du moteur :

<https://cad.onshape.com/documents/e39613a74ada0c6bc1784b83/w/a055572b0a9ac3f f576271f9/e/d14b9361d5e331c9561dd14f>

Gear sur le tronc de la turbine :

<https://cad.onshape.com/documents/65bf1da6398536112e0f0015/w/7214b250178a6d0 a046aa280/e/35ca313db457a5f8b9e64426>

Compress fit, tronc au bearing:

<https://cad.onshape.com/documents/94c6c272314c64a36d7388ac/w/6be75513d12255 6bb5affe1d/e/d63a74bf963daeb3fe2df7d3>

compression fit, turbine au tronc :

<https://cad.onshape.com/documents/38c8c9c8e94ffd8d4c60f904/w/e1aa778de76a7dc3 b6978fbc/e/4e6fb8a8ed25f82f2300b938>

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

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

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

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

Prototype 2

Numéro de test	Assomption de test	Objectif du test	Descriptif du test	Critère d'arrêt	type du prototype	fidélité produit	durée test
1	Les bâtons de popsicle vont s'emboîter dans les attaches sphériques .	Analyser la capacité des bâtons de popsicle à s'emboîter dans les attaches.	Essayer de mettre des bâtons de popsicle dans une attache.	Les bâtons de popsicle restent dans l'attache, dans toutes les positions possibles.	physique	haute	5 minutes
2	Les bâtons de popsicle du support pour le tuyau vont résister à la force de gravité et le poids du tuyau avec les billes.	Mesurer la résistance du tuyau à la force de gravité et le poids du tuyau avec les billes.	Construire une structure à l'aide de bâtons de popsicle et d'attache sphérique et accoter le tuyau ayant un débit de bille sur la	La structure reste intacte et stable en contrant la force de gravité, le poids du tuyau accompagné d'un débit minimum	Physique	Haute	10 Minutes

			structure. Le débit de bille augmente graduelle ment.	de 7 billes par seconde.			
3	Les morceaux de la maison vont tous s'emboîter .	Analyser la capacité des morceaux de la maison à s'emboîter .	Construire la maison à l'aide des morceaux.	La maison reste stable et ne subit aucune déformati on pendant au moins 2 minutes.	Physique	Haute	10 Minutes
4	La maison est esthétique ment attrayante.	Analyser l'esthétiqu e de la maison.	Demander à des élèves de la 4ème et 7ème année s' ils trouvent que la maison est esthétique ment attrayante.	Pour un échantillo n de au moins 5 élèves entre la 4ème et 7ème année, il faut qu' au moins 80% d'entre eux trouvent que la	Physique	Moyenne (subjectif)	5 Minutes

				maison est esthétique ment attrayante.			
--	--	--	--	---	--	--	--

Numéro de test	Assomption de test	Objectif du test	Description du test	Critère d'arrêt	Fidélité du test	Durée du test
5	L'hélice en mouvement reste agrippée au routeur du moteur.	Mesure de la stabilité de l'hélice.	Faire tourner l'hélice sur le routeur du moteur. Utiliser un ventilateur afin de faire tourner l'hélice.	L'hélice en mouvement reste agrippée au moteur pendant au moins 1 minute.	haute	10 minutes
6	Le moteur va produire entre 4,5-6v de puissance.	Mesure de la capacité électrique du moteur.	Faire tourner le moteur à l'aide de l'hélice et mesurer la puissance du moteur à l'aide du voltmètre.	Le voltmètre indique une tension d' au moins 4,5 volts.	haute	10 minutes
7	L'ampoule va	Analyser la	Faire	L'ampoule	haute	5 minutes

	s'allumer avec l'énergie électrique produite par le moteur.	fonctionnalité de notre système électrique.	fonctionner le moteur et connecter le moteur et l'ampoule LED à l'aide de fils électriques.	reste allumée, tandis que le moteur fonctionne .		
8	L'hélice du moteur sera capable de résister à la force des billes.	Mesurer la résistance de l'hélice.	Faire rouler les billes dans le tuyau et augmenter le débit de manière graduelle.	L'hélice peut résister à un débit de au moins 7 billes par seconde.	haute	10 minutes
9	Les billes auront assez d'énergie cinétique afin de faire de l'électricité avec le moteur.	Mesurer le voltage produit par le mouvement des billes sur l'hélice du moteur.	Faire rouler les billes par le tuyau pour qu'elles frappent l'hélice du moteur et créent de l'énergie électrique qui sera mesurée par un voltmètre.	L'ampoule reste allumée, tandis que le moteur fonctionne à l'aide de l'énergie cinétique des billes.	haute	15 minutes

10	Les différentes composantes du circuit vont être à une température sécuritaire.	Mesurer la température de chaque pièce du circuit.	Utiliser un thermomètre à contact afin de mesurer la température de chaque pièce tandis que le circuit est en marche.	Les composantes sont de moins de 45 degrés celsius.	haute	25 minutes
----	---	--	---	---	-------	------------