

RAPPORT DE PROJET

L'HYDROÉLECTRICITÉ ACCESSIBLE À TOUS

Présenté par

Adeline BOUQUIN

Héloïse ROBERT

Agathe DORMOY

Jules-Yann ROUILLER

Raphaël CARDINAL

Erina LE MORZADEC

Professeur référent

François JAFFRENNOU

ISEN Brest - EST 2



Flowtech

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont participé à la réussite de ce projet. Tout d'abord, nous souhaitons remercier les personnes qui ont cru et soutenu notre projet de son commencement à son aboutissement. Nous remercions également notre superviseur pour son soutien et ses conseils tout au long du projet. Nous sommes reconnaissants envers tous les professionnels et les professeurs qui nous ont aidé au succès de ce projet, en particulier ceux qui nous ont fourni de précieuses informations. Enfin, nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont directement ou indirectement contribué à la réussite de ce projet. Nous sommes fiers du travail accompli et nous sommes reconnaissants envers toutes les personnes qui y ont participé.

Merci à tous ceux qui prendront le temps de lire ce rapport.

SOMMAIRE

1. Table des Figures	4
2. Introduction	5
3. Développement	6
A. Organisation du projet	
i. Présentation de l'équipe	6
ii. Méthodologie	6
iii. Planning	8
B. Réalisation du projet	
i. Acteur locaux	9
ii. Définition du projet et expérimentation.....	10
iii. Emergence du projet	11
iv. Sprint	
a. Sprint 1	11
b. Sprint 2	12
c. Sprint 3	13
d. Sprint 4	14
e. Sprint 5	15
v. Analyse théorique et conclusions	17
vi. Analyse expérimentale et conclusions	20
vii. Résultats obtenus.....	24
viii. Ouvertures possibles	25
C. Fiche technique du projet	
i. Liste	
a. Liste de matériel nécessaire	26
b. Liste outil nécessaire	26
ii. Étapes de constructions	
a. Faire une hélice en bambou	27
b. Préparation du boîtier (poubelle)	29
c. Protection du moteur.....	30
d. Préparation de votre support.....	31
e. Préparation de votre clapet	31
f. Mise en place des étapes réalisées aux préalable.....	32
D. Rétrospectives	
i. Difficultés rencontrées	33
ii. Aspect pluridisciplinaire	35
4. Conclusion	36
5. Sources	37

Table des Figures

Figure 1 - Backlog Agile	7
Figure 2 - Planning projet	8
Figure 3 - Logo HydrAlgua	9
Figure 4 - Logo Low-tech lab Brest	9
Figure 5 - Logo Breizh Bamboo Bike	10
Figure 6 - Différents types d'hélices	12
Figure 7 - Prototype cuillères	13
Figure 8 - Test avec de l'eau	14
Figure 9 - Assemblage	16
Figure 10 - Test Final	23
Figure 11 - Création hélice	28
Figure 11 bis - Marquages des pales	28
Figure 12 - Assemblage hélice	28
Figure 13 - Création du support poubelle	29
Figure 13 bis - Création de la poubelle vue de devant	29
Figure 14 - Protection moteur	30
Figure 15 - Fixation moteur	31
Figure 16 - Clapet robinet	31
Figure 17 - Insertion gouttière	32
Figure 18 - Flynn Turbine	32

Introduction

Nous recherchons à consommer de moins en moins d'énergie. Que ce soit pour nos factures ou bien parce que nous sommes plus attentifs à l'environnement. C'est donc dans cette optique de trouver des solutions alternatives que nous est venue l'idée d'utiliser l'eau de pluie comme source d'énergie. Nous avons choisi l'eau de pluie d'une part pour son abondance, c'est en effet une source d'énergie qui est disponible dans de nombreuses régions à travers le monde, elle est également constamment renouvelée par les précipitations, c'est une source d'énergie renouvelable. De plus, c'est une énergie facilement accessible, il existe de nombreux systèmes de collecte d'eau de pluie. Les plus connues sont les gouttières et les citernes. Elles peuvent être installées sur des bâtiments déjà existants pour récupérer l'eau pour un usage ultérieur. C'est une source d'énergie très performante et à faible coût par rapport à d'autres sources d'énergie telles que les panneaux solaires et les éoliennes. C'est aussi une source d'énergie pratique et respectueuse de l'environnement. Et enfin l'eau de pluie peut également être une source d'énergie mécanique mais aussi d'énergie thermique comme dans les radiateurs.

Flowtech est née avec pour mission de rendre l'hydroélectricité accessible à tous. Ce projet est en phase avec le processus de transition écologique répondant aux défis tels que le changement climatique et la pollution de l'air. Nous voulons changer la manière de produire de l'énergie et encourager les citoyens dans cette démarche. Ce que nous voulons, c'est utiliser le flux de l'eau ruisselant dans la gouttière pour en tirer de l'énergie. Le flux hydraulique a été notre première option, et avait de nombreux avantages répondant aux enjeux environnementaux et économiques d'aujourd'hui. Tout d'abord il s'agit d'une source d'énergie renouvelable. En effet l'eau utilisée pour produire de l'énergie hydraulique provient de sources naturelles, telles que les rivières, les lacs et les océans. De plus, elle est constamment réapprovisionnée par les précipitations et les cycles naturels de l'eau. Le flux hydraulique est fiable, nous en avons l'exemple avec les centrales hydroélectriques qui ont la possibilité de fonctionner longtemps et sans interruption. Contrairement aux centrales brûlant des combustibles fossiles, elles ont besoin de moins de maintenance. C'est une énergie flexible qui peut être utilisée en fonction des demandes énergétiques, sa production peut ainsi augmenter ou diminuer en fonction des besoins de chacun. Le flux hydraulique réduit également les émissions de gaz à effet de serre, c'est une source d'énergie propre contrairement à la combustion des énergies fossiles contribuant à la pollution de l'air et au changement du climat.

Bien que nous soyons conscients que la quantité d'énergie ne sera pas nécessairement grande, elle n'est pas minime et peut être utile pour des appareils peu énergivores comme des éclairages extérieurs. Rappelons que notre vision est de rendre l'hydroélectricité accessible à tous. C'est dans cette optique que nous allons vous présenter la réalisation de la turbine Flynn.

Développement

A. Organisation du projet

i. Présentation de l'équipe

Notre équipe est composée de 6 membres. Au début de ce projet nous avons décidé de nous répartir des rôles précis. Nous avons alors :

- Adeline, la product owner, chargée de la présidence.
- Raphaël, le scrum master, chargé de la gestion du projet.
- Jules-Yann, chargé de la conception.
- Erina, chargée de la qualité.
- Héloïse, chargée de la communication.
- Agathe, chargée de la direction artistique.

Cependant ces rôles ne nous correspondaient pas assez, ils étaient trop précis et fermés par rapport à ce que chacun d'entre nous pouvait apporter. Au fur et à mesure des nouveaux "rôles" se sont créés. Nous ne pouvons pas vraiment parler de rôle, car rien n'était défini, tout se faisait naturellement grâce à nos connaissances des uns et des autres.

ii. Méthodologie

La méthodologie que nous avons ici suivie est la méthode agile, elle nous permettait de nous fixer des objectifs précis à court terme, d'en faire une présentation et d'obtenir des avis et des conseils pour améliorer la suite du projet ou nous débloquer. Le SCRUM est l'environnement de travail que notre équipe crée. Il permet de répondre aux problèmes posés et de trouver des solutions. Cet environnement apparaît lorsque chacun apporte ses connaissances et se fait confiance. Pour notre équipe, cette étape s'est vraiment bien déroulée, nous avons pu observer l'amélioration du SCRUM et de notre lien tout au long du projet.

Pour la méthode agile, nous avons dû définir des rôles et une vision, choses que nous avons décrites précédemment. Nous avons également défini un backlog. C'est une liste de fonctions qui sont nécessaires pour la réalisation du projet, cette dernière peut évoluer au cours du temps. Sur cette liste, il faut ensuite classer les différentes parties en mettant en avant celle à prioriser pour le projet. Nous avons choisi de commencer par les tâches les plus difficiles et n'avons pas modifié physiquement le backlog au cours du projet. Cependant nous avons amélioré notre vision de ce dernier.



Figure 1 - Backlog Agile

Au début de chaque sprint il nous fallait en définir les objectifs. Et à leur fin nous avons fait une rétrospective pour comprendre ce que nous avons réussi à réaliser ou pas, où était les problèmes et comment nous pouvions améliorer le tout au sprint suivant. Nous avons également essayé de poser des objectifs pour chaque séance où nous nous retrouvions, chose que nous avons mieux réussie sur la fin du projet grâce à la compréhension de nos capacités.

Pour ce qui est des outils numériques, nous avons d'abord choisi d'essayer d'utiliser mural, nous pensions que c'était une bonne idée d'apprendre un nouveau logiciel de communication par la même occasion. Cependant cet outil ne nous correspondait pas. Nous avons alors créé un dossier partagé sur google doc où chacun pouvait créer d'autres dossier ou d'autres documents partagés. Nous avons également créé un groupe whatsapp pour se parler facilement à distance ou pour des appels rapides. A l'inverse, Teams nous servait pour les appels plus longs et les interviews.

Pour ce qui est de la répartition des rôles, comme dit précédemment, ils étaient trop restrictifs par rapport aux capacités de chacun, nous n'avons donc naturellement pas pu les suivre longtemps. Au fur et à mesure du projet, de nouveaux rôles se sont mis en place selon les situations, nous avons appris à nous écouter, à travailler ensemble et notre compréhension des uns et des autres à augmenter. Nous avons alors trouvé notre place au sein du groupe et appris à fonctionner ensemble efficacement. Les défauts des uns étaient compensés par les qualités des autres et nous permettaient de tirer le meilleur de chacun d'entre nous. La confiance au sein du groupe ayant augmenté, nous avons pu nous répartir les différentes tâches avec plus de facilité. Les capacités de chacun définissaient nos tâches de travail mais tous avaient la possibilité d'essayer d'autres choses et de développer ses compétences.

iii. Planning



Figure 2 - Planning projet

A chaque fin de sprint, nous avons pris pour habitude de se retrouver sur notre temps de pause le lundi en fin de matinée pour faire un dernier point avant la présentation. Le jeudi midi pendant 5 minutes nous partageons rapidement nos progrès et nos objectifs pour le mardi suivant. Tout au long du projet nous nous sommes également appelés pour se fixer des objectifs et avancer dans la théorie.

Nous nous sommes vu plusieurs fois à l'extérieur des séances prévues à cet effet, dont la fois la plus importante fut du 18 au 21 Avril. Nous avons passé les trois derniers jours ensemble à travailler du matin jusqu'au soir. C'est lors de ce moment que nos liens se sont resserrés, que nous avons pu observer toute l'avancée du projet ainsi que notre évolution sur notre façon de travailler.

La méthode agile a été une bonne découverte pour nous et ce projet nous a beaucoup appris sur chacun d'entre nous et sur nous même.

B. Réalisation du projet

i. Acteurs Locaux

Durant la confection de notre projet, nous avons pu contacter des spécialistes pour nous aiguiller. Les domaines d'activités de ses acteurs étaient plus ou moins scientifiques mais ils nous ont tous été d'une grande aide pour le bon avancement de notre hydrolienne. Chacun a participé et apporté ses compétences nous permettant de toujours mieux progresser.

Lors de nos recherches pour la confection de la roue, nous avons pris contact avec l'entreprise HydrAlgua située à Thonon-les-Bains lors du sprint 2. Cette entreprise est spécialisée dans la création de petites hydroliennes utilisées dans les rivières. Nous avons pu avoir une interview avec l'un des fondateurs de l'entreprise, un jeune diplômé qui travaille aujourd'hui dans le secteur de l'hydroélectricité. Il a pu nous prodiguer des conseils pour notre projet, notamment sur le fait de privilégier une grande turbine plutôt qu'une seule petite, pour permettre un meilleur rendement. Pour avoir un rendement similaire à la grande turbine il aurait fallu en mettre plusieurs petites. De plus, ils nous a recommandé certaines formes hydrodynamiques et des matériaux pour construire notre turbine. Nous avons beaucoup appris et avancé grâce à cet entretien.



Figure 3 - Logo HydrAlgua

Pour mieux comprendre les enjeux du low-tech et de la fusion de celui-ci avec notre projet, nous avons contacté Low-tech Lab Brest. Nous avons été redirigés vers leur discord où nous pouvions contacter cette communauté, partager nos idées, recevoir des conseils et être aiguillés par des spécialistes de cette contre-technologie.



Figure 4 - Logo Low-tech lab Brest

De plus, nous avons contacté Breizh Bamboo Bike, une entreprise faisant des vélos en bambou située à Brest. Durant la conception de notre projet, nous voulions à tout prix que les matériaux soient accessibles, de ce fait nous nous sommes tournés vers le bambou pour l'hélice et les pieds de notre prototype. Pour mieux s'informer sur les caractéristiques de cette matière première, nous avons contacté le fondateur de cette entreprise, qui a pu nous guider vers la compréhension de ce matériel, en énumérant ses aspects positifs comme négatifs. Il nous a aussi donné quelques conseils pour comprendre comment travailler le bambou.



Figure 5 - Logo Breizh Bamboo Bike

Dans une optique plus théorique, nous avons discuté avec plusieurs professeurs de l'ISEN, soit Monsieur Adjou, professeur d'environnement, Monsieur Le Gall, professeur de physique, notre professeur de mathématiques, Monsieur Lecru et le professeur référent de notre projet, Monsieur Jaffrennou. Leurs différentes expertises, nous ont permis de mieux aborder les différents calculs et les aspects plus techniques, comme le choix de la taille de notre turbine. Néanmoins, les professeurs ont aussi répondu indirectement à des questions pratiques tel que l'arrivée d'eau et le mode de retenue de l'eau. Leurs conseils se révélaient toujours avérés, bénéfiques et bienveillants. Monsieur Jaffrennou nous a tout particulièrement aidé en nous suivant au fil de tout ce processus de création en nous accompagnant, lorsque nous nous égarions.

ii. Définition du projet et expérimentation

Les acteurs locaux ont donc été le moteur du bon avancement de notre projet, nous permettant d'évoluer dans la bonne direction tout en respectant la contrainte de temps imposée par la durée du module Projet. Sans aides extérieures, notre projet ne serait encore aujourd'hui qu'une idée complexe à mettre en œuvre. Le déroulement de la fabrication de notre prototype final la turbine Flynn a été tout de même périlleux. Néanmoins, grâce à beaucoup d'idées et d'investissements de la part de l'équipe, nous pouvons finalement vous montrer une version finie du prototype. De l'émergence de l'idée à la réalisation des tests finaux, le chemin a été long.

iii. Emergence du projet

Comme expliqué précédemment, l'idée de créer une turbine hydraulique miniature dans un module adaptable à toutes gouttières nous est venue de l'envie que tout le monde puisse produire sa propre énergie électrique chez soi.

iv. Sprints

a. Sprint 1

Pour débiter le projet, nous nous sommes concentrés sur le composant à l'origine de la production d'électricité, en accord avec notre vision de créer de l'hydroélectricité. Pour ce faire, nous nous sommes portés sur l'utilisation d'alternateurs. Nous en avons donc récupéré un issu d'une Ford des années 70, que nous avons par la suite testé pour vérifier qu'ils produisaient bien de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique. En outre, pour ne pas être trop en difficultés dès le début de nos expérimentations, nous avons mis de côté la partie hydraulique en utilisant l'énergie mécanique d'un vélo. En effet, grâce à un vélo à transmission par courroie, nous pouvions simuler le mouvement qu'induirait l'eau sur les pales de la turbine comme celui du pied sur la pédale. L'eau tout comme le pied entraînent une force rotationnelle, respectivement sur la turbine ou sur la pédale, qui par la suite entraînera la courroie puis la poulie de l'alternateur. Le but était donc d'avoir une idée plus claire du mouvement transmis par une courroie mais aussi de vérifier le bon fonctionnement de l'alternateur. Pour pouvoir utiliser correctement le vélo comme équivalent à la turbine, nous avons pris une vieille chambre à air trouée que nous avons découpée dans la longueur à plusieurs reprises. Nous avons ensuite fait des points aux extrémités de chaque bout de la chambre à air pour les assembler en une longue courroie. Cette nouvelle courroie créée, nous avons installé une extrémité à la place du pneu du vélo et l'autre sur la poulie de notre alternateur. Après avoir testé notre modèle en branchant un multimètre à l'alternateur, nous avons compris que celui-ci ne fonctionnait pas. En l'ouvrant, nous avons pu voir que l'alternateur n'était pas en bon état. Il avait dû surchauffer lors d'utilisation passée et faire fondre le régulateur, se transformant en une sorte de résine.

Nous avons donc principalement abordé le sujet de la production d'énergie électrique dans ce premier sprint. Nous nous y sommes intéressés dès le début car manquant de connaissances dans ce sujet, nous pensions que ce serait le plus compliqué à apprivoiser dans notre projet. Les difficultés rencontrées avec l'alternateur nous ont poussées à davantage nous renseigner sur ce générateur de courant.

b. Sprint 2

Nous avons décidé de dédier ce nouveau sprint à la recherche de l'hélice idéale pour notre projet. D'autre part, nous devons terminer nos initiatives passées pour trouver un moyen viable de produire de l'électricité à partir d'énergie hydraulique. L'alternateur ne nous semblant plus le meilleur moyen de production, nous avons choisi de nous tourner vers une alternative plus simple de récupération, plus petite mais surtout plus viable. Un moteur utilisé à l'envers comme générateur nous a semblé être la meilleure solution, principalement de par son accessibilité. Nous en avons récupéré plusieurs, un auprès de nos proches provenant d'un rasoir électrique et deux issus d'une radio fournie par le professeur Monsieur Jaffrennou.

Pendant qu'une partie de l'équipe trouvait le moyen de produire de l'énergie électrique, l'autre partie se concentrait sur l'objectif clé de ce sprint qu'était de déterminer la forme, le matériau et les pales de notre turbine. Entre turbine Pelton, Francis et Kaplan, notre choix s'est porté sur la turbine Pelton pour son rendement idéal de 90 %.

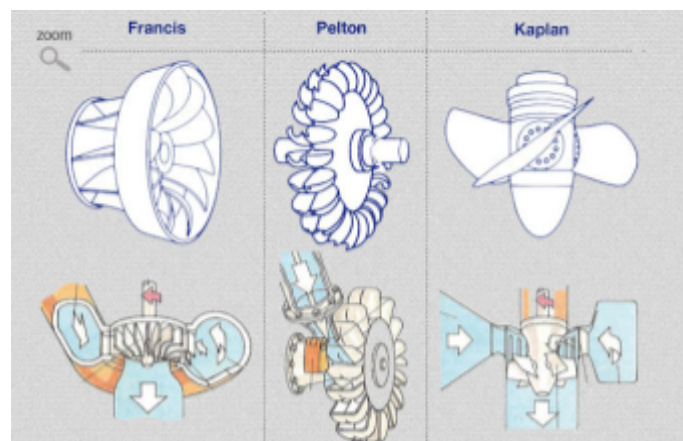


Figure 6 - Différents types d'hélices

De plus, au vu de la chute d'eau instaurée par la gouttière, celle-ci semblait la plus adaptée. Pour ce qui est de son matériau, celui qui revenait comme la meilleure solution était un matériau étanche et facilement accessible. Nous avons donc sélectionné l'inox, efficace mais chère, l'acier inoxydable, facilement récupérable comme les cuillères, le PVC (le matériau des gouttières) et le plastique, très accessible mais occasionnant des microplastiques dans l'eau. Pour nous assurer de ne pas nous tromper sur les choix faits sur la turbine, nous avons pris contact avec une startup spécialisée dans la création d'hydrolienne destinée au particulier : HydrAlgua. Un de ses fondateurs nous a accordé une interview. Il en est ressorti que nous devons utiliser une turbine aux pales hydrodynamiques telles que des demies sphères. Nous avons parlé de la possible utilisation d'une batterie, de l'obligation de traiter nos matériaux si nous voulons qu'ils résistent à l'eau ainsi que de l'importance d'un large diamètre pour la turbine. Néanmoins, il nous a conseillé de débuter par un prototype miniature, notamment en utilisant des cuillères, accessibles résistantes et plutôt hydrodynamiques.

Ainsi, nous avons débuté notre premier prototype fait de 6 cuillères. Par manque de temps, nous ne les avons pas fixées sur le moyeux. En outre, nous avons pu faire les marquages et couper les manches des cuillères à la disqureuse pour les raccourcir et les homogénéiser. Les trous dans le moyeux ont aussi été débutés ainsi que le ponçage des boues de cuillères, lui a été abouti.



Figure 7 - Prototype cuillères

De plus, nous avons amorcé la partie théorique du projet en s'interrogeant sur l'énergie potentielle de pesanteur et la vitesse du débit présent dans une gouttière verticale après accumulation d'eau aux portes de celle-ci. La méthode de retenue et de stockage de l'eau a aussi été étudiée, notamment par l'utilisation d'une cloche à syphon caractéristique des chasses d'eau.

c. Sprint 3

D'accord sur le fait que notre projet était encore trop abstrait, nous avons décidé qu'il serait important d'établir une liste claire et complète pour la conception de notre prototype final. Nous devions tout d'abord définir le matériau utilisé pour la fabrication de notre turbine. Le bois n'avait jusqu'ici pas été pris en compte pour la réalisation puisque la majorité d'entre eux pourrit en contact de l'eau et les traiter n'était pas une option pour nous. Néanmoins, nous avons appris qu'il existait différentes classes de bois en fonction de leur résistance à l'eau. En tentant de concilier accessibilité et résistance, certaines espèces de la classe 4 sortaient du lot, le bambou tout particulièrement pour sa forme arrondi mais creuse à l'intérieur. Une fois coupé en deux, le bambou est incurvé. De plus, le diamètre de certaines tiges est assez large pour faire des pâles. Nous nous sommes alors procuré deux tiges de cette plante auprès de nos proches puis avons commencé les mesures pour la conception de notre turbine. Nous avons auparavant contacté le fondateur de Breizh Bambou Bike afin qu'il nous donne des conseils sur comment travailler le bambou et où récupérer des chutes.

En parallèle de nos recherches sur le bambou, nous avons finalisé notre autre prototype fait de cuillères collées au pistolet à colle sur le moyeu.

Pour le début de la conception de notre prototype final, nous avons commencé par s'interroger sur la nécessité d'un moyeu en plus d'un arbre pour tenir les pales. Nous en avons tout de même découpé un dans la tige ayant le plus gros diamètre. Les 8 pales ont aussi été coupées dans cette tige afin d'être d'un diamètre assez large. Nous avons pour idée de les relier au moyeu grâce à des baguettes chinoises qui sont facilement récupérables si vous mangez régulièrement dans des restaurants asiatiques à emporter. Les baguettes chinoises seraient coincées dans quatre trous faits au préalable dans chaque

pales. Par la suite, l'autre tige, plus mince, a elle aussi été sciée afin d'obtenir l'arbre sur lequel reposerait le moyeu et les pales. L'arbre permettra de garder une place pour la courroie de notre moteur et de faire tourner notre turbine autour d'une barre fixée à notre module. Notons que toutes les coupes ont été faites après mûres discussions et marquages des dimensions, selon nous, idéales pour notre projet.

De plus, nos recherches théoriques ont progressé vers des calculs de pluviométrie, de débit et d'énergie afin de déterminer le moteur idéal pour notre projet.

d. Sprint 4

L'objectif phare de ce sprint était de finaliser l'assemblage de notre hélice pour n'avoir plus qu'à la renforcer avec de l'argile et se concentrer sur la conception du reste du prototype au prochain et dernier sprint. Pour ce faire, nous avons fait les emplacements pour les baguettes en perçant à la visseuse notre moyeu et notre arbre en même temps. Néanmoins, nous ne parvenions pas à déterminer la taille optimale des axes pour tenir les pales. En effet, d'un côté nous ne voulions pas réduire la taille globale de l'hélice pour garder un bon rendement. Mais d'une autre part, en réalisant un premier test de notre hélice dans le lavabo du foyer de l'école, nous nous sommes aperçus que les pales étaient trop écartées et donc que l'eau passait entre elles.



Figure 8 - Test avec de l'eau

Il était donc impératif de diminuer la taille du rayon de nos hélices, donc des baguettes pour limiter les pertes. En outre, nous aurions pu rajouter des pales mais à ce stade du projet nous ne pouvions pas nous permettre ce retour en arrière. Pour déterminer la taille du rayon de notre hélice, nous avons fait appel à deux professeurs, Monsieur Adjou et Monsieur Lecru, qui nous ont tous deux orientés vers des calculs d'énergies. L'autre option qui nous est venue, plus rapide et peut être plus faillible, était de tester au fur et à mesure notre hélice en réduisant petit à petit la taille des baguettes de façon à trouver l'accord parfait entre longueur et rendement. Nous nous sommes portés sur une version plus sûre de celle-ci,

après avoir tout de même cherché l'option par calcul sans vraiment aboutir. Pour vérifier si la longueur des baguettes était optimale nous avons utilisé un laser, jouant le rôle de l'eau, que nous avons mis perpendiculairement à une dizaine de centimètre de la pale horizontale. En faisant tourner notre hélice, nous avons remarqué que le laser ne s'échappait jamais des pales et restait constamment apparent sur une pale. Nous avons donc pu finalement fixé au pistolet à colle les baguettes dans les trous des pales

De plus, nous nous étions aussi fixé des objectifs personnels pour avancer individuellement les recherches en dehors des séances. Jusqu'ici, nous travaillions principalement lorsque nous étions ensemble mais la fin du projet approchant, il était indispensable que chacun avance de son côté. Ainsi, certaines personnes étaient chargées de proposer un plan clair pour le support de notre turbine en déterminant les matériaux et dimensions optimal pour celui-ci. L'idée de la poubelle de jardin a été gardée car par sa forme large et arrondie permettrait à l'eau de s'écouler sans stagner ni haut dessus ni dedans celle-ci. Une autre partie du groupe a continué la partie théorique et commencé la partie des analyses expérimentales à partir des tests déjà réalisés à l'école. Les personnes restantes étaient tenues de trouver le reste du matériel tel que la tige en aluminium, les roulements à billes et l'argile pour maintenir notre hélice.

Nous avons aussi pris contact avec notre professeur de physique Monsieur Le Gall pour recevoir des conseils sur des questions qui viendraient dans la suite du projet.

e. Sprint 5

Étant dans la dernière ligne droite du projet, ce sprint a été très chargé.

Nous avons réalisé les tâches courtes et simples lors du début du sprint : le ficelage, la mise en commun de nos recherches et l'achat de la poubelle. Nous avons aussi commencé à réfléchir à la façon de protéger notre moteur. De plus, nous avons fait face à un problème de taille qu'aucun de nous n'avait relevé jusqu'ici. En effet, les gouttières verticales sont souvent fixées très proches des maisons alors que le centre de la poubelle serait écarté de la maison. De ce fait, nous avons pensé à acheter des coudes de gouttière à 45° pour dévier le flux sans le ralentir tout en l'écartant de la maison pour laisser de la place à la poubelle. Pour la fixation des baguettes à l'argile, qui dure deux jours, ainsi que toutes les autres tâches qu'ils nous restaient à exécuter, nous nous sommes joints chez le membre de l'équipe qui disposait du plus de matériel. Nous avons passé quatre jours consécutifs à vivre et à travailler ensemble. Pendant cette expérience, nous avons efficacement avancé et finalisé notre prototype de turbine Flynn.

Lors des trois premiers jours, nous avons commencé par nous assurer que toutes les pales étaient plus ou moins droites, alignées entre elles et qu'elles formaient toutes le même angle avec le moyeu. En la testant sous un robinet, nous avons remarqué quelques imperfections auxquelles nous avons pallié en refaisant certains trous et certains ficelages. Nous avons alors enfin pu combler l'espace entre le moyeu et l'arbre avec l'argile pour fixer les baguettes. Nous nous sommes aussi enfin attardé sur la partie production d'énergie

dans le prototype final. Nous avons fait le choix de fixer le moteur dans une bouteille en plastique grâce à une charnière faite maison pour la protéger de l'eau. Nous avons découpé une fenêtre en haut de celle-ci pour y faire rentrer le moteur, sa courroie et la charnière. Des découpes ont aussi été faites dans la bouteille pour lui permettre de passer à travers l'arbre et la tige en aluminium. Ainsi la courroie a pu être accrochée entre la poulie du moteur et l'arbre de l'hélice. Pour finir avec la bouteille, nous avons fait un trou dans le bouchon pour faire passer les fils électriques que nous avons au préalable soudés avec le moteur. Après avoir acheté les coudes, nous avons enfin pu trouver la poubelle aux emplacements choisis pour les placer, ainsi que le bouchon de la bouteille et la tige en aluminium.



Figure 9 - Assemblage

Nous avons fait le choix dans un premier temps de coller un entonnoir dans le coude en contact avec le dessus de la poubelle. Nous nous sommes alors attaqués à la création de ce dernier à partir d'une bouteille en plastique. Nous l'avons fusionné avec le coude avec de la colle puis du mastic. Nous avons aussi rétréci son goulot en trouant son bouchon pour que le flux soit davantage concentré sur les pales. Néanmoins, suite aux conseils avisés d'un de nos proches, nous avons fait marche arrière et abandonné l'idée de l'entonnoir au profit d'un robinet. Ainsi, nous n'avons plus besoin de clapet ni de moyen de stocker l'eau. Comme conseillé par Monsieur Le Gall nous avons décidé de stocker directement l'eau dans la gouttière verticale. De plus, un robinet est fait pour retenir une forte pression donc nous n'avons plus non plus à nous inquiéter de ce paramètre. Ce jour-là nous avons effectué les derniers collages, c'est-à-dire les roulements à billes avec la tige en aluminium et l'arbre de l'hélice, les éléments de gouttières entre eux et à la poubelle ainsi que le robinet au reste. Pendant ce temps, les pieds du support ont été découpés et assemblés par du fil de pêche pour rendre la construction solide.

Le dernier jour, nous avons effectué tous les tests avec la structure entière, chose que nous développerons dans l'analyse expérimentale.

v. Analyse théorique et conclusions

Au cours des mois passés, nous avons beaucoup appris sur l'utilisation des différents outils propres à la confection. Nous avons développé nos capacités pratiques mais aussi mis à exécution certaines connaissances issues des cours que nous avons reçus dans les matières scientifiques au cours des deux dernières années. En couplant ses connaissances aux recherches effectuées lors des différents sprints, nous avons pu mener l'analyse théorique de notre projet.

Pour débiter la partie théorique de notre étude, nous nous sommes intéressés à la pluviométrie du secteur dans lequel nous pourrions installer notre module : la Bretagne. De plus, notre projet s'appliquant sur les gouttières, nous avons aussi pris en compte la surface moyenne au sol d'une maison en Bretagne pour trouver la surface sur laquelle la pluie pourrait être récupérée. Nous avons pris une maison de 10 mètres de longueur sur 7 de largeur, la surface au sol est donc de 70 mètres carrés. Néanmoins, la maison type est constituée de deux gouttières donc nous partageons par deux la surface sur laquelle il pleuvra. Ainsi, pour une maison typique de 70 mètres carrés au sol, la pluie peut tomber sur 35 mètres carrés et ensuite glisser vers la gouttière choisie. D'après les valeurs de pluviométrie moyennes de Bretagne, nous trouvons le tableau suivant :

une moyenne de 90 jours par saison	Pluviométrie en Bretagne (mm)	Pluviométrie en Bretagne (litres par m2)	Litres pour 35 m2 (présent dans une gouttière)	Quantité d'eau présente dans la gouttière par jour (C4/90)
Hiver	142 mm	142 L/m2	5 145 L/35m2	57,17 L
Printemps	127 mm	127 L/m2	4 445 L/35m2	49,39 L
Été	103 mm	103 L/m2	3 605 L/35m2	40,06 L
Automne	320 mm	320 L/m2	11 200 L/35m2	124,45 L

De plus, dans notre projet nous avons décidé de stocker directement l'eau dans les deux gouttières, verticale et horizontale. Les gouttières de maisons individuelles type ont un rayon de 4 centimètres et sont à une hauteur de 4 mètres. La maison choisie a une longueur de 10 mètres. En utilisant la formule du volume du cylindre ($V = \text{Base} \times \text{hauteur}$), nous retrouvons :

$$V = (\pi \times 0.04^2) \times 10 = 0.05 \text{ m}^3 \text{ (horizontale) et } V = (\pi \times 0.04^2) \times 4 = 0.02 \text{ m}^3$$

Nous divisons par deux cette valeur pour obtenir le volume de la gouttière qui est un demi cylindre soit $0,025 \text{ m}^3$ donc 25 litres pour la gouttière verticale et pour la gouttière horizontale (entière) $0,02 \text{ m}^3$ soit 20 litres. Nous avons ensuite ajouté les contenances possibles des deux gouttières et sommes arrivés à 45 litres. Pour que la gouttière ne déborde pas, le robinet doit être ouvert au moins 1 à 3 fois par jour en fonction des saisons. Ainsi, notre projet semble concret s'il est installé en Bretagne car il peut être utilisé au maximum de ses performances jusqu'à plusieurs fois par jour.

Avec cette énergie “récupérée” dans les gouttières, notre objectif est donc de faire tourner une turbine pour produire de l’électricité. La suite de cette analyse théorique abordera les calculs de grandeurs qui font abstraction des caractéristiques de la Turbine Flynn. L’analyse expérimentale permettra par la suite de prendre tous les paramètres en compte.

Pour évaluer la rentabilité de ce projet, nous avons calculé l’énergie potentielle de pesanteur qui s’exerce sur l’eau présente dans la gouttière. La formule de l’énergie potentielle de pesanteur est : $E_p = mgh$. Ici la hauteur est égale à la taille de la gouttière verticale soit 4 mètres, la masse de l’eau est de 1kg/L soit ici 20 kg et l’intensité de pesanteur est égale à $9,81 \text{ N.kg}^{-1}$. Nous avons donc obtenu que l’énergie potentielle de pesanteur arrivant sur les pales est de 784,8 J.

De plus, avant de se lancer dans la conception même d’une turbine hydroélectrique, il ne faut pas oublier de déterminer le potentiel énergétique du site en fonction du débit et de la hauteur de chute d’eau afin de vérifier si on peut prétendre à une production d’énergie.

Potentielle énergétique (potentielle d’une chute d’eau) :

$$P = g \times q_v \times H \times \eta$$

- P : puissance [kW]
- g : accélération de la pesanteur [m/s^{-2}]
- q_v : débit volumique en [m^3/s]
- H : hauteur de chute en [m]
- η : rendement = 0,6

Il faut donc déterminer quel est le débit volumique de l’eau dans notre gouttière :

$$q_v = S \times v$$

- S : section transversale (m^2)
- v : vitesse de chute de l’eau (m.s^{-1})

La section transversale dans notre cas est l’aire de l’ouverture du robinet. Sachant que nous avons placé le robinet à l’envers pour avoir un diamètre un peu plus élevé, il est de 1,5 cm. De plus, si la retenue d’eau dans la gouttière est à son maximum et a une hauteur de 4 mètres alors :

$$q_v = S \times v = \pi \times r^2 \times \sqrt{2gH} = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 4} = \pi \times \left(\frac{0.015}{2}\right)^2 \times 8.86$$

$$AN : q_v = 0.0016 \text{ m}^3/\text{s}$$

Une fois le débit volumique calculé, on peut définir le potentiel énergétique d’une gouttière de 4 mètres de hauteur.

$$P = g \times q_v \times H \times \eta = 9.81 \times 0.0016 \times 4 \times 0.6 = 0.038 \text{ kW} = 38 \text{ W}$$

Nous avons donc un potentiel énergétique de 0.038 kW dans une gouttière de 4 m de hauteur.

Grâce au débit volumique, nous pouvons aussi calculer le temps pour lequel la gouttière se mettrait à se vider. Une fois le robinet ouvert lorsque celle-ci serait pleine. D'après nos calculs par rapport à la dimension de notre gouttière, on a vu qu'il peut y avoir une retenue d'eau de 45L en tout soit 0.045 m^3 (la gouttière verticale plus la gouttière horizontale). Nous appliquons alors le calcul suivant :

$$q_v = \frac{V}{t} \Leftrightarrow t = \frac{V}{q_v}$$

- V : Volume (m^3)

Nous avons alors :

$$t = \frac{V}{q_v} = \frac{0.045}{0.0016} = 28 \text{ s}$$

En théorie, l'écoulement de l'eau via le robinet durerait 28 secondes. Si nous reprenons nos calculs précédents, et que nous pouvons ouvrir le robinet deux à trois fois par jour, nous pouvons dire que en une journée notre turbine Flynn fonctionnerait entre 54 secondes et 1 min 22 (soit 92 secondes). Nous pouvons donc calculer en moyenne combien on pourrait produire grâce au potentiel énergétique.

Nous avons utilisé la formule suivante :

$$P = \frac{E}{t} \Leftrightarrow E = P \times t$$

- E : Energie (Joule)

$$E = P \times t = 38 \times 54 = 2052 \text{ Joule}$$

$$E = 38 \times 92 = 3496 \text{ Joule}$$

Nous avons alors un potentiel de production d'énergie entre 2052 joules et 3496 joules.

De plus, en calculant la vitesse de chute de l'eau et en déterminant le rendement de notre turbine, nous avons pu trouver la puissance électrique que pourrait fournir notre générateur:

- A partir de la vitesse déterminée précédemment, nous pouvons calculer l'énergie cinétique correspondante: $E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 25 \times 8,86^2 = 981,2 \text{ J}$
- En appliquant notre rendement global à la valeur de l'énergie cinétique trouvée, que nous avons estimé à 60 %, nous pouvons dire que notre générateur pourra fournir une puissance électrique de : $P = 981,2 \times 0,60 = 589 \text{ W}$

Notons que l'énergie mécanique est la somme de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique. Ainsi, nous pouvons écrire que l'énergie mécanique du système est de $784 + 981$ soit de 1765 J

Cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique à partir d'un générateur. En effet, pour revenir sur notre changement de générateur de courant, de notre passage de l'alternateur au moteur électrique, il est pour nous essentiel de comprendre les phénomènes physiques qui engendrent une production d'électricité. Après de nombreuses

recherches théoriques sur le fonctionnement d'un alternateur, sur la nécessité du rotor et du stator dans ce système et la conversion du courant alternatif en courant continu, nous voulions comprendre aussi la production d'électricité au sein d'un moteur non alimenté. Du fait que nous avons choisis de nous porter sur l'utilisation d'un moteur pour notre projet, comprendre son mécanisme peut nous permettre de mieux appréhender notre projet. Le type de moteur électrique sur lequel nous nous sommes dirigés est le moteur à induction, celui que l'on peut retrouver dans un grand nombre d'appareils électriques (ventilateur, pompes, pouli...). Celui-ci transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. La composition d'un moteur à induction a des similarités avec celle de l'alternateur. Il est aussi constitué d'un rotor relié à l'arbre (qui tourne et contient des tôles d'acier laminés) et d'un stator fixe (composé d'un certain nombre de fils de cuivre enroulés en bobine). Lorsque le moteur est connecté à l'alimentation électrique, l'enroulement du stator produit un champ électromagnétique rotatif qui donnera naissance aux forces de Laplace susceptibles de mettre en mouvement le circuit considéré. Ce phénomène permet de transformer un courant en un mouvement. Dans le cadre de notre projet, nous voulons effectuer le phénomène inverse, transformer un mouvement en un courant. La science a montré que le mouvement d'un circuit dans un champ magnétique donne naissance à une force électromotrice et donc à un courant si celui-ci est fermé. Et c'est ce phénomène qui explique la possibilité de transformer un mouvement en un courant. Ici faire tourner l'arbre grâce à l'hélice met en mouvement le rotor au sein du champ magnétique induit par le stator et c'est cela qui crée la force électromotrice et par ailleurs le courant. Ces phénomènes sont des phénomènes d'induction. Nous cherchons alors dans notre projet à aboutir à ce phénomène d'induction pour obtenir un courant et donc arriver à produire de l'électricité.

vi. Analyse expérimentale et conclusions

Tout au long de la réalisation d'un projet, il est essentiel de vérifier par l'expérience s'il va dans la direction souhaitée. C'est pour cette raison que nous avons réalisé différents tests. Ils permettent d'une part de savoir si cela rejoint les suppositions que nous avons émis par notre pensée ou par la théorie réalisée par le passé. D'autre part, il permet de détecter les éventuels problèmes. Nous nous sommes penchés sur l'analyse expérimentales de ces aspects :

- La rotation de l'hélice
- L'assemblage de tout le module
- La production d'électricité
- débit volumique de l'eau

C'est en validant par la pratique ces points clés un à un que nous conduirons le projet vers sa réussite.

Concernant la rotation de l'hélice, nous devons nous assurer que les calculs effectués au préalable dans la partie théorique étaient valides. Nous sommes conscients que nos suppositions théoriques ne sont pas entièrement exactes puisqu'elles ne prennent

pas forcément en compte tous les facteurs qui interviennent dans la pratique, comme les frottements, les matériaux utilisés, ect... Il est donc impossible de rejoindre à l'identique la théorie. Mais, dans cette analyse expérimentale, nous souhaitons néanmoins trouver des ordres de grandeur en commun entre résultats pratiques et théoriques. L'analyse débute alors une fois la conception de l'hélice achevée. L'optique ici est de vérifier si l'hélice est solide, si elle résiste à un flux hydraulique plus ou moins important et aussi de vérifier si elle tourne correctement.

Test 1 : Nous avons fait un premier test en plaçant notre hélice en bambou sous un évier et en la maintenant sur le bout de nos doigts. Lors de ce test, nous avons réalisé une vidéo qui a pu être analysée par la suite.

Analyse 1 : En filmant le test, nous avons pu déterminer la vitesse de rotation de l'hélice lors de l'analyse de celui-ci. Cette vitesse nous intéresse car elle nous permettra d'avoir une idée sur la valeur de la production finale d'électricité. Pour la définir, il faut commencer par déterminer la vitesse angulaire associée à l'hélice, qui se calcule grâce à la formule suivante

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

- ω : *vitesse angulaire (rad . s⁻¹)*
- α : *angle balayé en un certain temps (rad)*
- t : *temps (seconde)*

En regardant la vidéo, on peut voir que l'hélice tourne correctement sur une durée de 7 secondes et effectue 1.75 tours donc :

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{1.75 \times 2\pi}{7} = 1.57 \text{ rad.s}^{-1}$$

On a donc une vitesse angulaire de 1.57 rad.s^{-1} et grâce à cela on peut avoir la vitesse de rotation en tour par minute :

$$v_r = 1.57 \times \frac{60}{2\pi} = 15 \text{ tr/min}$$

L'hélice dans cette vidéo tourne à une vitesse de 15 tr/min, ce qui signifie que l'arbre aussi. On cherche à déterminer le rapport entre le diamètre de l'arbre et le diamètre de la poulie sur le moteur pour savoir quelle est la rotation du rotor au sein du moteur. En effectuant les mesures, la poulie a un diamètre de 0.8cm et l'arbre de 3 cm donc : $\frac{3}{0.8} = 3.75$

La poulie est alors 3.75 fois plus petite que l'arbre. Ce qui signifie que lorsque l'arbre fait un tour, la poulie effectue 3.75 tours. Donc par conséquent à une rotation de :

$$v_{\text{poulie}} = v_r \times 3.75 = 15 \times 3.75 = 56.25 \text{ tr/min}$$

Résultats 1 : Au moment du test nous avons déjà pu remarquer que malgré ses conditions, soit les frottements induits par la peau, l'hélice tournait. Nous en avons donc conclu qu'en couplant notre hélice à des roulements à billes, le rendement pouvait être proche de celui maximal.

Test 2 : Une fois la mise en place du robinet en tant que “clapet”, nous avons réalisé de multiples tests pour savoir si le flux induit par le robinet était suffisant pour faire tourner l’hélice. Nous avons par ailleurs continué à vérifier si aucun autre facteur entraînait en jeu dans un freinage potentiel de sa rotation.

Analyse 2 : Dès le début de l’expérimentation, nous avons filmé tous nos tests pour nous faciliter l’analyse. Ici nous avons décidé d’effectuer l’analyse vidéo seulement sur le dernier test, puisque c’est celui où l’on a réussi à avoir la meilleure production d’électricité et donc une vitesse de rotation correcte. Il faut savoir que nous avons dû régler de nombreux petits soucis avant d’arriver à un résultat convenable. Nous avons, par exemple, dû faire face à une hélice qui ne tournait pas malgré le flux tombant sur ces pâles. Cet exemple nous a mené à un moment d’incompréhensions car le test préliminaire avait fonctionné. Cela était dû à différentes causes. Des problèmes de roulement à bille, de bouteille protégeant le moteur qui touchait l’arbre ou encore un déséquilibre sur l’arbre puisque le bambou n’est pas totalement circulaire sur l’un des côtés de l’arbre, ce qui créait ce phénomène. Tous ces facteurs cumulés, ont immobilisé la roue malgré la force exercée par le flux hydraulique. Après avoir repéré les défaillances, ça a été relativement simple de remédier à ces problèmes. La résolution de ceux-ci au fur et à mesure des tests nous a permis de produire de l’électricité. Cela est dû à une bonne vitesse de rotation. Nous cherchons donc à savoir à quelle vitesse tournait le moteur pour produire cette énergie. La vidéo dure 1min05, le robinet est ouvert à partir de deux secondes et l’hélice se met en rotation dès ce moment. Nous décidons de porter notre attention sur la période de temps pour laquelle l’hélice tournait le plus vite. On a donc compté le nombre de tours que faisait l’hélice entre 14 secondes et 28 secondes. On a pu procéder au comptage grâce à une marque sur l’arbre assez visible pour le repérer au moment où l’arbre a fait un tour. Sur une période de 14 secondes, l’arbre a fait 10 tours. On procède de la même manière que le test 1 pour définir la vitesse de rotation de l’arbre ainsi que de la poulie.

$$\text{vitesse angulaire : } \omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{10 \times 2\pi}{14} = 4.49 \text{ rad.s}^{-1}$$

$$\text{vitesse de rotation : } v_r = 4.49 \times \frac{60}{2\pi} = 42.9 \text{ tr/min}$$

$$v_{\text{poulie}} = v_r \times 3.75 = 42.9 \times 3.75 = 160.9 \text{ tr/min}$$

Résultat 2 : Nous pouvons voir que nous avons réussi à optimiser notre système. Nous avons doublé sa vitesse de rotation pour l’arbre entre le test 1 et le test 2 et presque triplé la vitesse de rotation de la poulie du moteur. C’est ce qui nous a permis de produire de l’électricité. Grâce à l’utilisation d’un ampèremètre, nous savons que lorsque le rotor tourne à une vitesse de 160.9 tr/min, nous arrivons à produire 0.17mV (Figure 10).



Figure 10 - Test Final

Avec le moteur que nous avons récupéré (moteur à courant continu) nous savons que nous pouvons arriver à une production d'électricité de près de 12 Volts dans l'idéal. Étant donné que nous avons établi un rapport entre la vitesse de rotation de la poulie et la tension délivrée par le moteur, nous pouvons déterminer la vitesse de rotation nécessaire à poulie pour produire 12V. Dans le cadre de notre projet, il serait irréalisable de réussir à produire 12V sachant qu'un moteur à courant continu effectue entre 4000 à 10000 tour/min pour arriver à cette production et que notre hélice fait 160 tour par minute.

Concernant la conception même de notre système, l'assemblage de chaque module, que se soit entre le boîtier principal et l'hélice, le boîtier principale et les gouttières, le moteur et son boîtier de protection,... nous a donné du fil à retordre. De nombreux modules se sont assez facilement emboîtés dû aux mesures faites au préalable pour que ce soit le plus précis possible. Malgré notre anticipation nous devons gérer des imprévus. C'est au cours de nos expérimentations que nous les avons rencontrés. Par exemple, nous avons voulu tester notre système avec beaucoup d'eau dans la gouttière pour essayer de reproduire ce à quoi notre système pourrait ressembler s'il était réellement appliqué à une gouttière de 4 mètre de hauteur. Nous avons donc versé un certain volume d'eau dans la gouttière. Il est important de préciser que nous n'avons pas encore fini notre projet et qu'il y avait quelques pièces qui n'étaient pas fixées. A ce moment-là, nous avons déjà fait quelques tests mais seulement avec peu d'eau dans la gouttière. Nous avons donc continué à verser de l'eau jusqu'au moment où il y a eu trop de pression. Le bouchon de la gouttière a été éjecté avec la pression. Le bouchon n'avait pas encore été fixé puisqu'il semblait bien tenir.

Résultat de cette expérimentation : nous avons pu comprendre réellement par cet incident que juste avec un volume d'eau important, la pression devient très forte rapidement. Et qu'il n'était donc pas nécessaire de mettre un entonnoir en hauteur pour pouvoir avoir un débit important. Nous avons compris que c'est donc en pratiquant que nous pouvons apprendre.

Concernant le débit volumique de l'eau. Nous avons pu en théorie définir un débit de $0.0016 \text{ m}^3/\text{s}$ dans notre application. Et avec cela, nous obtenions un temps d'écoulement de 28 secondes. Or, avec seulement 3 litres d'eau, nous arrivions en pratique, déjà à une période de 30 secondes. C'est donc pour cette raison qu'il faut toujours vérifier si la théorie est correcte. Dans cette partie théorique où nous détaillerons les calculs, le débit nous a servi à déterminer le potentiel énergétique de notre système. En outre, par l'expérimentation, le débit ne peut pas être aussi élevé avec le robinet que nous avons. Notre potentiel énergétique est alors biaisé, c'est pourquoi nous avons décidé de calculer le débit directement en expérimentant.

test 1 : Nous avons pris deux litres d'eau que nous avons versé dans la gouttière où se trouve le robinet. Nous avons chronométré et ouvert le robinet.

Analyse 1 : Le robinet a mis 23 secondes à se vider entièrement. Cela signifie que l'on a une vitesse d'écoulement de :

$$\text{débit volumique : } q_v = \frac{V}{t} = \frac{2}{23} = 0.087 \text{ L/s} = 8.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = g \times q_v \times H \times \eta = 9.81 \times 0.00087 \times 4 \times 0.6 = 0.02 \text{ kW} = 20 \text{ W}$$

$$E = P \times t = 20 \times 54 = 1080 \text{ Joule}$$

$$E = 20 \times 92 = 1840 \text{ Joule}$$

On aurait alors un débit volumique de $8.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, un potentiel énergétique de 20 Watt et une production d'énergie de 1080 à 1840 joule soit une production de 1840 Ws.

vii. Résultats obtenus

La visée de ce projet était de produire de l'hydroélectricité accessible à tous. Cet objectif a été respecté puisque lors de nos expérimentations, nous avons réussi à obtenir environ 0,17 millivolts et 0,28 micro ampères. En outre, avec de tels résultats, il est difficile de trouver des appareils qui peuvent être alimentés par cette énergie. Nous pouvons en venir à la conclusion suivante, le produit de la tension et de l'intensité nous montre que la puissance obtenue par notre système est inutilisable dans son état actuel. Néanmoins, nous ne doutons pas du fait qu'en apportant quelques améliorations à notre module il puisse bien mieux produire de l'énergie électrique. En effet, en apportant quelques modifications à notre turbine Flynn, nous aurions pu être en mesure d'améliorer le rendement et ainsi d'obtenir entre 5 et 2 V environ, en sachant qu'en testant avec une visseuse à sa vitesse maximale, nous pouvions obtenir 9V. Nous aurions alors pu allumer une petite led et ainsi développer un éclairage extérieur occasionnel.

viii. Ouvertures possibles

Notre turbine Flynn est un système dont nous pouvons être fier, de par sa fonctionnalité et sa totale pertinence avec la visée de notre projet. En outre, notre prototype aurait pu être fait autrement, de façon à être peut-être plus efficace. Avec du recul, certains choix de remaniement aurait pu être fait afin de maximiser son rendement. Nous aurions pu ajouter un arbre sans partie plate pour moins de pertes ainsi que de diamètre plus large pour faire tourner le moteur plus vite. Accrocher une roue à l'arbre de diamètre assez large aurait été une bonne solution pour augmenter le rapport avec la poulie du moteur. Nous pouvons aussi rajouter un deuxième moteur, symétriquement au premier par rapport à l'hélice, ce qui par la même occasion permettrait de protéger le deuxième roulement à billes.

Avec une meilleure capacité de production d'énergie électrique, il pourrait être intéressant d'appliquer notre turbine Flynn sur d'autres flux hydrauliques. Cette énergie est la plupart du temps encore trop peu utilisée. De ce fait, notre projet pourrait se révéler profitable pour les particuliers tout comme les professionnels qui souhaitent produire de l'électricité chez eux à partir d'énergie potentielle non exploitée. Ils pourraient installer notre type de turbine à la sortie ou à l'entrée de leur maison, au niveau de la tuyauterie. Les collectivités locales pourraient également tirer partie de cette énergie à travers l'utilisation des conduits de sortie des châteaux d'eau. De plus, si le temps ne nous avait pas manqué nous aurions aimé testé notre turbine Flynn près de chutes d'eau telles que celle du Jardin Botanique de Brest. Bien sûr, il faudrait d'abord étudier la faisabilité de ces utilisations et obtenir les autorisations nécessaires pour mettre en place de telles idées. Néanmoins, ce projet nous a fait réaliser à quel point nous pourrions faire des économies d'énergies si nous nous mettions à utiliser l'énergie potentielle des systèmes qui nous entourent. De même, nous pourrions élargir notre vision en réfléchissant à une application dans des pays où l'accès à l'électricité est limité. Il existe déjà des hydroliennes accessibles et adaptées aux particuliers tels que celle créée par la startup HydrAlgua, dont nous avons interviewé un des fondateurs, qui utilise le courant des rivières ou les courants marins. Néanmoins, une turbine comme Flynn n'a pas la forme adaptée pour exploiter le plein potentiel des courants. Il reste tant de recherches et de travail à réaliser sur ces sujets d'avenir.

Même si notre projet était d'abord centré sur une forme de turbine adaptée au flux présent dans les gouttières, notre vision est l'hydroélectricité accessible à tous. Nous avons alors réfléchi aux autres formes que pourrait prendre notre projet. Nous nous sommes rendu compte qu'il existait déjà plusieurs projets d'hydroliennes similaires à celui que nous avons entrepris (comme cité précédemment). Il ne reste donc plus qu'à ceux qui s'en sentent motivés, d'essayer de les développer de façon Low Tech.

C. Fiche technique du projet

i. Liste

a. Liste matériel nécessaire

Cette liste de matériel est exhaustive et peut bien sûr être adaptée en fonction du matériel que vous possédez déjà chez vous ou que vous êtes en capacité de récupérer :

- Poubelle (≈ 10 € chez castorama)
- Manchon de gouttière x2 (≈ 2 € l'unité chez castorama)
- Gouttière coude 45° x4 (≈ 4 € l'unité chez castorama)
- Tampon de visite femelle pvc x2 (≈ 5 € l'unité chez castorama)
- Bambou / bois (≈ 3 € sur leboncoin)
- Tige aluminium (≈ 4 € chez castorama)
- Robinet (≈ 10 € chez leroy merlin)
- Baguette chinoise (une vingtaine)(≈ 2 €)
- Moteur de votre choix avec une courroie adéquate
- Bouteille plastique
- Argile résistante à l'eau (≈ 3 € chez Artéis)
- Colle (joint, fixation pvc) (≈ 10 € chez leroy merlin)
- Roulements a billes type hand spinner x2(≈ 2 €)
- Rouleau de ficelle (≈ 5 €)
- Bande perforé modulable aluminium x6 (≈ 14 € chez leroy merlin)

Pour un total d'environ 93 €

Dans le cas où vous n'avez aucun de ces matériaux vous en avez au maximum pour : 100€

Nous avons fait avec ce que nous avons, car nous disposions de la plupart du matériel nécessaire.

b. Liste des outils nécessaires

- Pince a rivet
- Rivet/vis
- Visseuse/perceuse
- Disqueuse
- Scie
- Mètre
- Pistolet à colle

- Scie sauteuse
 - ii. *Étapes de constructions*
 - a. Faire une hélice en bambou

Outils : mètre, scie, perceuse

Dimensionner votre hélice de sorte à ce qu'elle puisse rentrer dans votre poubelle assez facilement et qu'elle soit assez grande pour faire tourner la courroie de votre moteur. Pour ce faire:

a.1- création des pales (x8)

Prenez votre bambou de diamètre le plus large, placez-vous après un coude, et coupez votre bambou 4 fois espacé de 6 cm pour former 4 cylindres creux. Puis, placez-vous au milieu de votre cylindre et coupez votre bambou dans le sens de la longueur pour former des demi-cylindres creux.

a.2- création du moyeu

Prenez ce même bambou et faites une coupe de 5 cm de long. Bien sûr, ces valeurs peuvent être revues à la hausse selon la taille que vous voulez faire à votre hélice. Une hélice plus grande sera plus puissante, mais il faut lui rajouter des pales pour éviter que l'eau ne passe à travers les pales.

a.3- création de l'arbre central

Prenez un bambou d'un plus petit diamètre que celui du moyeu de sorte à pouvoir l'y introduire assez facilement pour qu'il reste un espace de 4 ou 5 mm entre eux. Coupez ainsi l'arbre d'une longueur de 15 cm. Il est important de bien choisir le diamètre de l'arbre afin de pouvoir y bloquer des roulements à billes à chaque extrémité de celui-ci.

a.4- mesure des différentes pièces créé précédemment

Pour percer les pales, vous aurez besoin de plusieurs diamètres de forêt ainsi que de votre perceuse. Dans cette étape, vous devrez être particulièrement minutieux dans vos mesures et vos trous car ils seront décisifs pour la suite.

Pour le moyeu / arbre: Percer 2 trous à 2 cm de chaque extrémité du moyeu pour chaque couple de baguettes. Répétez l'opération pour les 7 autres doublons tout en vous assurant que chaque couple de trous soit à égale distance de ses "voisins". Lorsque vous ferez vos trous, assurez vous de les faire avec le bon forêt, bien perpendiculaires au moyeu et assez profond de façon à percer à la fois le moyeu et l'arbre. Il faut que la partie la plus fine de la baguette puisse rentrer dans le trou du moyeu et de l'arbre tout en se bloquant dans celui-ci. Dans le cas où vos baguettes seraient trop enfoncées dans l'arbre, coupez les extrémités qui pourraient gêner le passage de la tige en aluminium.

Pour les pâles : Percer 4 trous dans chacune des 8 pâles. Pour les faire correctement, vous pouvez marquer deux points sur le même axe, à 1,5 cm du bord de l'arc de cercle et à 1,5 cm du milieu de la pale. Répétez l'opération pour les deux autres trous mais cette fois à seulement 1 cm du bord de l'arc de cercle. Notez qu'il n'est pas nécessaire de trous complètement la pale pour les points placés à 1,5 cm. La démarche est la même pour les 7 autres pâles.



Figure 11 - Création hélice

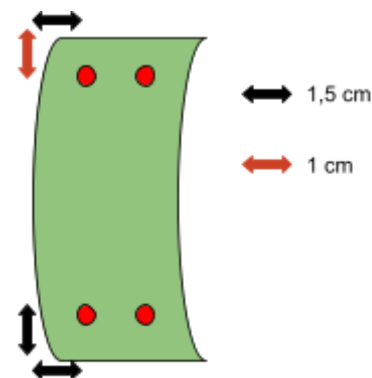


Figure 11 bis : Marquage des pâles

a.5- assemblage de l'hélice

Rentrez vos baguettes de sorte à ce que la partie la plus large de la baguette vienne s'emboîter dans la pale, et la partie la plus fine dans l'arbre et le moyeu. Si votre hélice présente des imperfections au niveau des angles et du parallélisme, utilisez la ficelle pour relier les baguettes entre elles et combler au maximum les imperfections. Une fois que votre hélice vous convient, fixez au pistolet à colle l'extrémité de la baguette qui doit rentrer dans le trou de la pale.

a.6- fixation à l'argile

Lorsque vous pensez avoir terminé votre hélice, si vous en sentez le besoin, vous pouvez consolider l'hélice en complétant à l'argile l'espace entre l'arbre et le moyeu. Voici le résultat attendu:



Figure 12 - Assemblage hélice

b. Préparation du boîtier (poubelle)

outils : scie sauteuse, pince a rivet, disqueuse

Votre poubelle est naturellement inclinée du fait que l'entrée de la poubelle a un diamètre supérieur au fond. La poubelle sera placée de cette façon contre le mur de votre maison :



Figure 13 - Création de la poubelle

Marquer l'emplacement des trous des coudes de gouttières en les centrant sur les extrémités basses de la poubelle. Assurez-vous que le trou d'arrivée d'eau est un peu plus haut que le trou de sortie pour prendre en compte l'espace entre la gouttière et votre mur. Pour couper, il est préférable d'utiliser une scie sauteuse si vous en possédez une. Faites également deux trous de la largeur de votre tige en aluminium à égale distance des extrémités hautes et basses de votre poubelle. L'objectif est que la barre traverse la poubelle dans le sens de la largeur et maintienne votre hélice.



Figure 13 bis - Création de la poubelle vue de devant

c. Protection du moteur

c.1 Conception du boîtier

Pour protéger votre moteur, vous pouvez opter pour une bouteille en plastique mais faites attention à sa dimension.



Percez la poubelle sur le dessus, perpendiculairement à la tige en aluminium. Cela servira non seulement à stabiliser la bouteille en mettant le bouchon par-dessus, mais aussi à faire passer les câbles électriques. Assurez-vous que l'une des extrémités de l'arbre puisse être en partie dans la bouteille pour pouvoir y mettre la courroie. Faites deux trous dans la bouteille perpendiculairement à la tige en aluminium. L'un doit être de la taille de la tige et l'autre assez gros pour qu'il n'y ait pas de frottement avec l'arbre.

Votre poubelle ainsi que votre bouteille sont alors prêtes à l'emploi.

Figure 14 - Protection moteur

c.2 - fixation du moteur au boîtier

Commencer d'abord par découper dans la bouteille une porte assez grande en face de où vous pensez mettre votre moteur pour l'y faire rentrer.

Pour déterminer l'emplacement où vous allez fixer le moteur, utilisez la longueur de votre courroie, de sorte à ce que quand vous reliez la courroie a votre moteur ainsi qu'à votre arbre, la courroie soit bien tendue. Une fois cette distance définie, nous vous recommandons d'utiliser 2 bandes perforées de chaque côté de votre bouteille pour fixer votre moteur, comme ceci :

Vous aurez au préalable entouré votre moteur de bandes perforées pour ensuite le fixer à la bouteille.



Figure 15 - Fixation moteur

Pour la fixation vous pouvez utiliser des rivets de chaque côté de votre moteur.

d. préparation du support

Pour cette étape, vous pouvez suivre le guide de bambouenfrance.fr à l'adresse : <https://bambouenfrance.fr/assemblage-bambous/>

Dans le cadre de notre projet nous avons ajouté un axe reliant les 2 pieds pour assurer une meilleure stabilité à notre support. Pour cela, il vous suffit de faire un trou au centre de vos pieds sans abîmer votre cordage et y emboîter votre bambou.

e. préparation du robinet

Afin de facilement contrôler le flux présent dans votre gouttière, vous pouvez utiliser un vieux robinet, vous pouvez le placer à l'envers comme ceux-ci pour profiter de la longueur de ce côté :

Fixez-le à votre tampon de gouttière, après l'avoir troué en son centre, sans oublier de mettre un joint qui vous garantira une meilleure étanchéité que la colle. Il est préférable de le faire de la même manière de l'autre côté du robinet, pour assurer la stabilité de votre hélice. Une fois le robinet fixé à ce tampon relié aux coudes, emboîtez le à la fin de votre gouttière. Faites en sorte de centrer votre robinet sur vos pales. Ce système est pratique car il permet de stocker sans fuite l'eau dans votre gouttière. Il vous suffira d'ouvrir le robinet lorsque vous avez besoin du flux hydraulique et par ailleurs d'énergie .



Figure 16 - Clapet robinet

f. Mise en place des étapes réalisées au préalable

N'oubliez pas de fixer les roulements à billes à l'intérieur de votre arbre et sur la tige en aluminium grâce à de la colle, en faisant attention à ne pas collez les roulements à billes ce qui pourrait créer des frottements et ralentir votre hélice. N'hésitez pas à rapper l'intérieur de l'arbre si vous avez trop de difficultés à y insérer les roulements à billes. Placez votre hélice fusionnée à votre tige en métal à l'intérieur de votre poubelle, en y plaçant bien votre bouteille du côté du trou pour le bouchon, dans le bon sens. Placez votre courroie sur votre arbre et reliez-la à votre moteur. Laissez bien les fils électriques traverser le bouchon. Collez vos gouttières entre elles grâce à de la colle PVC. Insérez-les dans la poubelle, et fixez-les avec du mastic et des bandes perforées modulables, utilisez des rivets pour la fixation. Faites de même en haut et en bas de la poubelle. Attention la gouttière d'en bas doit bien être fixée au ras de la poubelle, pour ne pas gêner la sortie de l'eau. Vous devez obtenir l'assemblage ci-dessous :



Figure 17 - insertion gouttière

Placez votre poubelle sur votre support et voilà le travail !



Figure 18 - Flynn Turbine

D. Rétrospectives

i. Difficultés rencontrées

La réalisation d'un projet compte différentes étapes indispensables. La première est d'organiser celles-ci et donc de prévoir ce qu'il y aurait à faire pour mieux appréhender le tout. La deuxième est l'expérimentation, autrement dit, de passer à la réalisation expérimentale. La troisième prend en compte l'analyse des résultats et la conclusion. Mais ce n'est pas tout, la réalisation d'un projet ne peut être considérée comme aboutie lorsqu'il n'y a pas de prise de recul. Reprendre toutes les étapes citées et analyser ce qui fonctionne ou non est une des parties les plus importantes. Faire une rétrospective de la réalisation du projet aurait pour but de faire le bilan sur les difficultés rencontrées dans différents domaines, comme l'organisation ou la méthodologie et permettrait de mieux appréhender de futur projet.

La rétrospective de ce projet doit aborder différents aspects tels que :

- La méthodologie
- L'organisation
- La réalisation expérimentale

Du point de vue de la méthodologie, nous avons commencé par suivre la méthode agile (comme expliqué dans le paragraphe 2). Cette méthode permet d'avancer concrètement le projet en différentes phases appelées des sprints. Encadrés par ces différents sprints tout au long de la réalisation du projet, nous devons définir nos objectifs à chaque début de sprint. Cette étape est essentielle pour aborder un projet, mais elle nous a semblé difficile lorsque nous étions au commencement de celui-ci. Avoir carte blanche sur le projet nous a permis de l'imaginer comme nous le voulions. Mais définir ce que nous souhaiterions en ayant ni trop de connaissance dans le domaine, ni de fiche technique à suivre, a été l'une des difficultés que nous avons rencontrée. Étant tous novices dans la réalisation de ce type de projet, nous avons eu du mal à savoir par où il fallait commencer. Plus le temps passait, plus notre projet évoluait et s'affinait. Nous avons une vision de plus en plus précise de ce que nous voulions réaliser. Ce cheminement fait partie intégrante de la réalisation d'un projet mais, ne pas savoir vers où se diriger est forcément déstabilisant au début. Néanmoins, avec le temps, il était de plus en plus facile de se départager les missions. La méthode agile nous a forcé à avancer le projet rapidement, sur des durées de sprint assez courtes. En outre, avoir certains sprints plus longs n'aurait pas été de refus.

Du point de vue organisationnel, nous avons commencé par se définir des « rôles » (voir partie organisation) qui nous le savions pourrait évoluer au fil du temps. Ces rôles nous ont permis dès le début de savoir ce que chaque personne préférerait et serait le mieux en capacité de faire afin de mieux appréhender le partage des missions. Nous avons appris à travailler ensemble tout au long de ce projet et cela s'est fait ressentir dans la manière dont nous coopérons. Nous avons compris qu'il était important de faire un point sur la visualisation individuelle du projet assez fréquemment, ce que nous ne faisions pas réellement au début. Alors, nous avons pu être de plus en plus efficaces dans notre façon

de travailler ensemble. Grâce à nos différentes rencontres en dehors des cours, nous avons d'une part fait avancer concrètement le projet et d'autre part appris à se connaître, ce qui a aussi favorisé une cohésion au sein de l'équipe. Notre groupe sur WhatsApp, notre dossier sur google doc, ainsi que nos autres moyens d'échanges, nous ont facilité la manière de continuer à avancer ensemble en distanciel et à toujours partager notre progression entre nous. Nous pouvons dire que malgré quelques problèmes d'organisation au début du projet, nous avons réussi à nous unir et c'est ce qui nous a aidé à mener à bien le projet.

Du point de vue de l'expérience, nous avons eu de multiples difficultés. Nous avons essayé au maximum d'anticiper par la théorie nos avancements mais certains points ne s'anticipent pas et ne se vérifient que par l'expérience. La théorie nous permettait certes d'avoir une idée de ce que l'on pourrait produire, mais en réalité, au vu du grand nombre de facteurs qui entrent en jeu dans la théorie, l'expérimentation est nécessaire. Notre première difficulté pour passer à la réalisation de notre projet a été de trouver le matériel, que ce soient les outils nécessaires ou le matériel à récupérer pour le projet en lui-même. Pour les matériaux du projet, nous devions en récupérer au maximum en seconde main. Étant étudiant, nous n'avons pas beaucoup de matériaux et outils que nous pouvions utiliser sous la main. Nous avons essayé de trouver des manières de récupérer du matériel chez des particuliers ou chez des professionnels mais ceci n'était pas toujours facile. Nous devions alors s'organiser pour ramener cela de la maison de nos parents. Mais nous avons eu la chance que certains membres du groupe habitent non loin de l'école ce qui nous a favorisé l'avancement du projet et un accès à ces outils. La deuxième difficulté a été de définir les meilleures mesures, pour savoir quel était le meilleur emplacement que ce soit pour l'hélice, l'axe de fixation, la hauteur du support, savoir quelle était la dimension la plus adaptée pour notre projet, ect ... Nous avons défini de nombreuses mesures par des calculs mais réussir à les faire avec le plus de précision possible n'était pas simple. Pour citer un exemple, lorsque nous avons réalisé notre hélice, il a fallu percer le moyeu et l'arbre pour pouvoir insérer la tige faisant office de rayon. Or pour cela il fallait que chaque trou réalisé soit orienté de manière à avoir un angle de 45 degrés entre chaque rayon. N'étant pas des professionnels nous nous sommes retrouvés avec une hélice ayant des rayons n'étant pas parfaitement alignés ce qui freinait sa rotation lorsque nous la testions avec un flux d'eau. Nous avons dû faire face à ce problème et trouver des solutions. Par exemple, nous avons décidé de retravailler les trous effectués pour qu'ils soient les plus droits possibles, mis des ficelles pour rééquilibrer tous les rayons et enfin mis de l'argile pour éviter qu'ils bougent. Dès qu'un nouveau problème apparaît, c'était une nouvelle étape dans le projet, où nous devions passer par un temps de réflexion pour trouver la meilleure solution. Une fois celle-ci trouvée nous pouvions continuer le travail. Pour résumer nous avons rencontré deux grandes difficultés par rapport à la réalisation de notre projet qui était de trouver le matériel nécessaire en seconde main et de définir les meilleures mesures.

ii. Aspect pluridisciplinaire

Notre projet est assez complet du côté pluridisciplinaire. En effet, durant sa confection, nous avons fait appel à de nombreux domaines différents, que ce soit dans les sciences sociales ou dans les sciences appliquées. Les mathématiques, la physique et les sciences de l'ingénieur ont été l'un des piliers de notre projet. Mais tout ne réside pas que dans ces matières scientifiques. Les interactions sociales ont pris aussi une grande place durant ces quelques mois. La gestion de groupe et la cohésion de notre équipe fut l'un des premiers obstacles que nous avons traversé durant ces mois. Étant le premier projet sur une grande période et avec une si grande équipe, les difficultés sociales ont été présentes. Chaque personne de notre groupe voyant différemment ce projet, nous devions apprendre à expliquer clairement ce que nous pensons. La gestion des sciences sociales étant peu vue dans le système scolaire, nous avons appris au fur et à mesure. Avec la méthode agile que nous venons d'acquérir, nous avons pu suivre une démarche sur le long terme nous permettant de planifier ce premier grand projet.

4. Conclusion

Réaliser un projet de quatre mois, en équipe et ayant pour unique consigne le thème low tech a été une expérience nouvelle et enrichissante pour chaque personne de notre équipe. Notre projet a continuellement évolué, l'organisation de nos rôles dans la méthode agile a changé au fur et à mesure que nous trouvions nos qualités. Durant ces quelques mois, nous avons amélioré progressivement notre méthode de travail. En effet, nous avons planifié des réunions entre les sprints et la réalisation des rétrospectives. Pour chaque sprint nous avons dû prévoir des objectifs à atteindre avant la fin de celui-ci. Au début, nos objectifs étaient souvent hors d'atteinte, nous sous-évaluions la difficulté de mener un projet d'une telle ampleur. De ce fait, nous avons commencé à redéfinir nos objectifs pour les rendre plus atteignables. Les premiers sprints se sont focalisés sur l'aspect théorique puis de plus en plus sur l'aspect pratique qui nous a amené vers la conceptualisation de notre turbine Flynn, un module adaptable à toutes les gouttières. Cette caractéristique met en lumière notre vision, l'hydroélectricité accessible à tous. Pour y arriver, nous avons dû rassembler toutes nos connaissances en mathématiques, physique et sciences de l'ingénieur. De plus, pour le bon avancement du projet, nous avons contacté de nombreux acteurs locaux et pour l'aspect plus théorique nos professeurs de l'ISEN. Leur aide nous a été précieuse dans l'aboutissement de notre projet. La réflexion a été le point clé du projet autant dans la réalisation de celui-ci que dans la manière dont nous l'avons abordé. Notre spécialisation en environnement, nous a orienté vers notre thème. Ayant conscience que l'aspect énergétique fait l'objet de controverses en société, il nous a semblé élémentaire de nous y intéresser et de l'étudier dans le cadre d'un projet concret. Comme nous avons pu le voir durant celui-ci, l'énergie est une notion dure à appréhender, de par sa complexité et son importance. Mais est-ce réellement cette partie de la transition écologique qu'il fallait valoriser ? N'y avait-il pas d'autres préoccupations sur lesquelles se concentrer ? La transition écologique concerne de nombreux facteurs autres que l'énergie. Pour rappel, elle est une évolution vers un nouveau modèle économique et social. Un modèle de développement durable qui innove nos façons de consommer, produire, travailler, vivre ensemble. Dans la société dans laquelle nous vivons, la prédominance de la question énergétique va continuer à s'accroître face à notre mode de vie très digitalisé et capitalisé. C'est dans l'optique de renouveler notre façon de produire et d'une certaine manière notre façon de consommer l'énergie que la turbine Flynn a vu son apparition. Valait-il mieux ne pas se concentrer sur notre façon de vivre ? Essayer d'appliquer un nouveau mode de vie en mettant en œuvre des low-tech autour de nous ? Comme dit précédemment, la transition écologique aborde différents aspects aussi importants les uns que les autres. Mais nous avons compris que vivre en utilisant les low-tech, c'est vivre autrement. Et c'est en utilisant cette nouvelle façon de vivre qui est accessible à tous et qui consomme peu que nous participons à la transition écologique. Nous sommes fiers de dire que nous avons compris cela et satisfait de ce que nous avons réalisé, que c'est au prix d'un dur labeur qui n'a épargné ni la sueur de nos fronts ni la gymnastique de nos neurones que nous avons pu aboutir à notre projet final.

5. Sources

- Assemblage de bambous, bambouenfrance.fr
- Les enseignants ainsi que les professionnels
- Cours énergie
- Alternateur, reparcar.fr
- Hélice/ turbine:
 - Qu'est-ce que l'équation de Bernoulli ? Tout savoir sur les hydro-turbines ou turbines hydroélectriques, energiedouce.com
 - Portland's Autonomous Infrastructure: Hydropower, youtube.com
 - Entreprise bretonne micro turbine, neozone.org
 - Fiche turbine , turbiwatt.com
 - Choisir sa turbine, turbiwatt.com
 - Electricité gratuite comment fabriquer une turbine hydraulique à faible coût, youtube.com
 - Comment fonctionne un alternateur?, youtube.com
 - Type d'hélices, euromixers.fr
 - Comment faire une Turbine Hydroélectrique Pelton - Partie 1, youtube.com
 - Turbines kaplan turbine francis pelton helice et leur rendement, mecaflux.com
- Inspiration:
 - How to make AMAZING bamboo water fountain with water wheel, youtube.com
 - Je fabrique une roue à eau pour avoir de l'électricité, youtube.com
 - Un générateur hydraulique ultra-compact, youtube.com
- Calculs:
 - Pluviométrie moyenne annuelle, bretagne-environnement.fr
 - Produisez votre électricité, Hydroturbine.info
 - Notions de physique - Hydrodynamique, hydroelect.info
 - L'énergie potentielle de pesanteur et l'énergie cinétique, superprof.fr