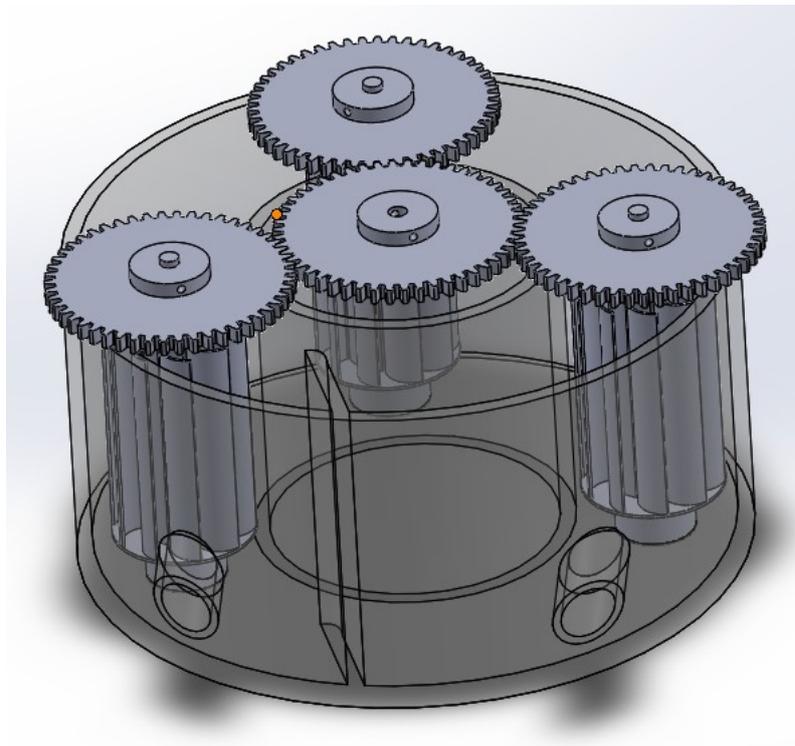


Étude et conception d'un banc hydraulique Energie renouvelable



Etudiants :

Salma ENNOUAIMI

Mathis GOUJON

Julien HERMAN

Victor PETIT

Matthieu VERIN

Enseignant-responsable du projet :

Abdellah HADJADJ

Date de remise du rapport : **11/06/2022**

Référence du projet : **STPI/P6/2022 – 006**

Intitulé du projet : ***Étude et conception d'un banc hydraulique – énergie renouvelable***

Type de projet : ***Conception, Réalisation***

Objectifs du projet :

L'objectif du projet est de concevoir un banc hydraulique à partir du travail réalisé les deux dernières années. Ainsi, il faut reprendre les travaux des années précédentes et les améliorer pour rendre le projet plus concret et ainsi pouvoir avancer la construction du banc.

Mots-clefs du projet : ***modélisation, conception, impression , énergie renouvelable***

Remerciements:

Tout d'abord, nous tenons à remercier notre professeur encadrant monsieur Abdellah Hadjadj, pour son suivi tout au long du semestre.

Nous souhaitons également remercier monsieur Pascal Williams, pour les différentes impressions 3D qu'il a réalisées à notre demande, et ce hormis les délais d'attente qui étaient grands.

Nous remercions Mattéo Lecoq et Clément Fajoux, pour leur partage d'expérience inestimable sur le logiciel Solidworks, sans qui nos modélisations n'aurait jamais pu avoir leur qualité actuelle.

Enfin, un grand merci aux groupes précédents pour leurs travaux fournis en amont, qui ont constitué une base solide pour notre projet.

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	7
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3. Travail réalisé et résultats.....	8
3.1. Énergies renouvelables.....	8
3.1.1. L'énergie éolienne.....	8
3.1.2. L'énergie solaire.....	9
3.1.3. L'énergie photovoltaïque.....	9
3.1.4. L'énergie thermique.....	10
3.2. Les énergies marines renouvelables:.....	10
3.2.1 L'énergie éolienne en mer.....	10
3.2.1. L'énergie marémotrice (énergie des marées).....	11
3.2.2. L'énergie houlomotrice (énergie des vagues) :.....	11
3.2.3. L'énergie hydrolienne (énergie des courants marins).....	12
3.2.4. Les EMR en France:	12
3.3. Reprise des travaux des années précédentes.....	13
3.4. Notre projet.....	14
3.4.1. Description générale.....	14
3.4.2. Turbine.....	14
3.4.3. Bassin.....	16
3.4.4. Engrenages.....	17
3.4.5. Pompe.....	18
3.4.6. Système électrique.....	19
3.4.7. Problèmes rencontrés.....	19
4. Conclusions et perspectives pour l'amélioration du banc.....	20
5. Bibliographie.....	21
6. Annexes :.....	22
6.1. Autres énergies marines	22
6.1.1. L'énergie thermique des mers.....	22
6.1.2. L'énergie osmotique	22

6.2. Diagramme de Gantt.....	23
6.3. Calcul du débit de la pompe.....	23
6.4. Devis de la pompe.....	25
6.2 : Phénomènes liés à l'écoulement d'un fluide.....	25
6.4.1. Turbulences:.....	25
6.4.2. Cavitation:.....	26
6.4.3. Pièces achetés.....	27

1. INTRODUCTION

Dans un contexte climatique de plus en plus critique et alors que le monde commence à ressentir dès aujourd'hui les conséquences du réchauffement climatique. Il est impératif d'accélérer la transition écologique, notamment dans le domaine de l'énergie. En effet, plus de 62% du mix énergétique mondial provient des énergies fossiles, source d'énergie qui émet le plus de gaz à effet de serre et qui participe donc le plus au réchauffement climatique. Ainsi, il est nécessaire d'augmenter la part des énergies décarbonées dans le mix énergétique mondial et par conséquent de développer les énergies renouvelables qui ne représentent actuellement que 26% du mix énergétique mondial.

Le projet de ce cycle P6, s'inscrit dans cette dynamique puisque l'objectif du projet est la conception d'un banc hydraulique, soit la production d'électricité à partir de l'énergie des courants marins. Ainsi, le banc réalisé serait un modèle miniature représentant la production d'électricité par un système hydroélectrique qui pourrait se retrouver en mer ou dans un cours d'eau par exemple. L'idée de ce projet est aussi de sensibiliser au développement des énergies renouvelables, et notamment hydraulique.

L'objectif pour notre groupe est de rendre le travail fait par les groupes des années précédentes plus concret et donc de construire le banc hydraulique. Il faut donc pour cela reprendre et s'appropriier le travail de nos prédécesseurs mais également voir ce qui fonctionnera et ce qui ne fonctionnera pas pour pouvoir réaliser un banc opérationnel.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail

Au début, nous avons lu et pris connaissance des rapports précédents. Ensuite, nous nous sommes mis d'accord sur les détails théoriques du projet (forme du bassin, type de la turbine, etc), pour enfin passer à la modélisation et l'aspect pratique du projet.

Ainsi, nous avons établi un diagramme de Gantt pour détailler l'avancement que nous prévoyons pour le projet au cours du temps. Nous nous réunissons chaque semaine pour dérouler un bilan hebdomadaire sous forme d'une présentation orale de 15 à 20 min à notre encadrant. Le reste de la séance, nous discutons des remarques de notre prof, mettons à jour le diagramme de Gantt et attribuons à chacun la tâche à faire pour la semaine à venir. Les présentations étaient réalisées grâce à l'outil Google Slides et le coordinateur du groupe s'occupait d'expliquer l'avancement de tous.

2.2 Organigramme des tâches:

Afin de mener à bien notre projet, nous avons utilisé le diagramme de Gantt comme moyen de planification.

Le diagramme de Gantt est un outil utilisé pour la gestion des projets qui permet une organisation efficace pour mener à bien le projet. Ce dernier représente visuellement l'état d'avancement du projet. En effet, on y retrouve la date de début et de fin du projet dans son ensemble, les différentes tâches à réaliser avec la date de début et de fin de chaque tâche et le chevauchement éventuel de dates avec la durée y afférente.

Nous avons eu quelques difficultés à suivre ce diagramme. En effet, nous étions amené à le mettre à jour à plusieurs reprises. En fait, notre projet étant très pratique ne reposait pas que sur nos recherches, mais aussi sur la disposition du matériel et la contribution d'intervenants extérieurs. Ainsi, plusieurs facteurs extérieurs ont impacté notre projet et ont perturbé le bon suivi de notre planification. A titre d'exemple, les délais de livraison non respectés, les devis refusés ou encore la démission d'un membre du groupe.

Ce diagramme nous permettait de prendre conscience du retard que nous prenons quant à notre objectif final qui était la réalisation du banc, et nous poussait à chercher des solutions alternatives et à mettre en place des objectifs plus réalistes et réalisables dans le temps restant.

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Énergies renouvelables

3.1.1. L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est une des techniques de production d'énergie les plus anciennes, apparue la première fois pour le déplacement en mer avec la voile, mais aussi pour le traitement de la nourriture avec les moulins. De ce fait, ces énergies étaient utilisées en majeure partie afin d'être transformées en énergie mécanique. De nos jours, cette énergie est davantage utilisée pour être transformée en électricité, plutôt qu'en énergie mécanique. Cette utilisation de l'énergie éolienne est apparue au XIXe siècle pour enfin être commercialisée seulement à partir de la moitié du siècle suivant.

Les différents types d'éoliennes :

Il existe deux types de capteurs éoliens : les capteurs à axe horizontal et ceux à axe vertical. Les premiers sont les capteurs les plus répandus et connus. En effet, ils présentent un meilleur rendement, sont plus solides et ont un coût de production moins élevé que les capteurs à axe vertical. Ils sont utilisés dans la production d'électricité et contiennent deux ou trois pales.

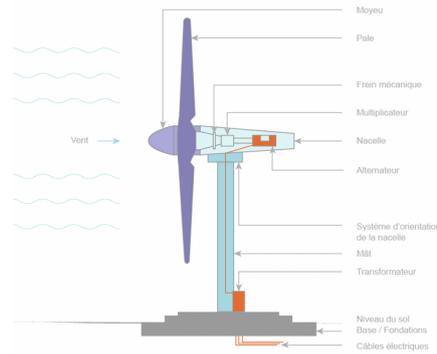


Figure 1: Schéma d'une éolienne

3.1.2. L'énergie solaire

Apparu dès l'Antiquité, l'énergie solaire est une source d'énergie que l'Homme manipule depuis plusieurs milliers d'années. Cette énergie était utilisée à la base pour allumer la flamme olympique par l'utilisation de miroirs afin de concentrer les rayons du Soleil. Les premières applications pratiques apparaissent au XVIIe siècle, mais il faudra attendre l'année 1839 avant que l'effet photovoltaïque soit découvert par Edmond Becquerel. Cet effet permet de convertir la lumière en électricité. La première cellule solaire permettant de produire de l'électricité apparaît en 1916, même si ce n'était qu'à faible rendement. L'énergie solaire connaîtra un important développement suite notamment à la conquête spatiale, celle-ci étant la seule énergie offrant la possibilité de générer de l'électricité dans l'espace, en dehors du nucléaire.

3.1.3. L'énergie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'énergie issue des rayonnements solaires par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques, sous forme de panneaux ou de centrales solaires photovoltaïques. Les cellules photovoltaïques sont constituées de matériaux semi-conducteurs, un présentant un excès d'électrons et un autre avec un déficit d'électrons, le tout avec des cristaux afin d'améliorer la conductivité. Ces cellules sont de plus photosensibles, ce qui permet de libérer des électrons au contact des rayonnements solaires. Suite à cela, les électrons circulent dans un circuit fermé afin de créer un courant électrique, pour être utilisés directement ou stockés dans des batteries.

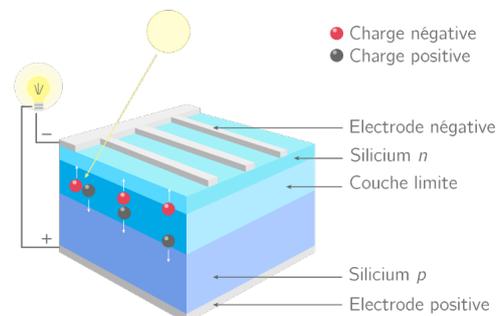


Figure 2: Schéma cellule photovoltaïque

3.1.4. L'énergie thermique

L'énergie thermique consiste à utiliser la chaleur contenue dans les rayonnements du Soleil. Il existe trois types de technologies exploitant cette énergie : la technologie thermique active, la technologie thermique passive, et la technologie solaire thermodynamique.

La technologie thermique active est utilisée à basse et moyenne température. On installe des capteurs thermiques sur les toits des bâtiments qui vont capter cette chaleur et la transmettre par le biais d'un fluide caloporteur. Cette eau chaude est ensuite utilisée pour l'utilisation quotidienne comme le chauffage ou pour les sanitaires.

La technologie thermique passive, de son côté, ne nécessite pas l'utilisation de capteurs solaires. Néanmoins, elle utilise l'architecture du bâtiment mettant à profit les rayonnements du Soleil, pour chauffer ou éclairer notamment.

La technologie solaire thermodynamique est, quant à elle, utilisée à haute température, allant de 250 à 1000 degrés. Elle capte les rayons du Soleil et les concentre à l'aide de collecteurs pour chauffer un fluide caloporteur. À la différence de la technologie thermique active, on utilise la vapeur générée qui, suite à cela, produit de l'électricité grâce à des turbines à vapeur ou à gaz.

3.2. Les énergies marines renouvelables:

Les énergies marines renouvelables sont issues d'une ressource naturelle que l'on retrouve sur près de 70 % du globe terrestre : l'eau, et ses mouvements créés par la mer et les océans, les fleuves, et les marées. Jusqu'ici peu exploité, son potentiel est prometteur et exempt d'émissions de gaz à effet de serre. Les ressources du milieu marin sont diverses et variées: l'éolien en mer, l'énergie marémotrice (énergies des marées), l'énergie hydrolienne (énergie des courants marins) et l'énergie houlomotrice (énergie des vagues). Les énergies thermique, osmotique et biomasse marine sont développées en Annexe.

3.2.1. 3.2.1 L'énergie éolienne en mer

L'une des premières ressources en mer est le vent marin. Pour exploiter cette source, nous pouvons passer par l'énergie éolienne. Cette dernière transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. Les éoliennes en mer peuvent être fixes (implantées sur des hauts-fonds) ou flottantes (construites sur terre et implantées dans des zones où la profondeur des fonds marins ne permet pas la construction de fondations.). De plus, les vents en mer sont plus fréquents qu'en terre. A puissance de vent égale, les éoliennes offshore produisent 2 fois plus que

les éoliennes normales. Cette énergie a un impact paysager et environnemental limité et maîtrisé

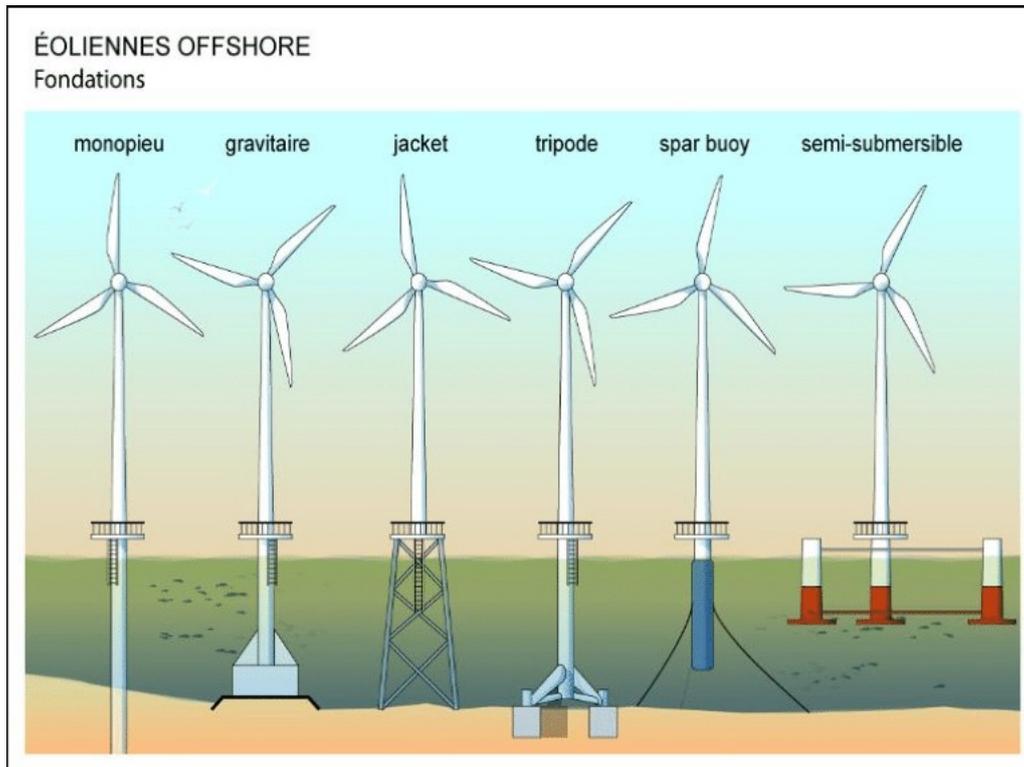


Figure 3: Différents types d'éoliennes Offshore

3.2.2. **L'énergie marémotrice (énergie des marées)**

Contrairement aux éoliennes qui captent l'énergie cinétique, l'énergie marémotrice, quant à elle, utilise l'énergie potentielle. Le principe consiste à exploiter l'énergie issue des marées dans des zones littorales de fort marnage (différence de hauteur d'eau entre la marée haute et la marée basse se succédant). Le potentiel de l'énergie marémotrice dans le monde est estimé à près de 380 TWh/an, soit 1,5% à 2% de la production électrique mondiale annuelle.

3.2.3. **L'énergie houlomotrice (énergie des vagues) :**

L'énergie houlomotrice tient son nom du fait qu'elle est produite à partir de la houle. La houle est le nom donné aux vagues qui se succèdent à la surface de la mer sous l'effet du vent et qui sont parfois propagées sur des distances importantes. À travers le temps, cette énergie a connu plusieurs états d'avancement. Le procédé le plus connu et le plus maîtrisé à ce jour pour développer l'énergie houlomotrice est fondé sur le principe de longs flotteurs alignés dans le sens du vent et perpendiculaires aux vagues. Ces derniers sont maintenus à la surface de l'eau grâce à de gros câbles sous-marins qui touchent le fond marin et donnent de la consistance à l'installation. Une turbine est ensuite activée grâce à l'oscillation des flotteurs entre eux qui permet de comprimer un fluide hydraulique. L'inconvénient de ce système se situe dans sa capacité à savoir résister à des conditions météorologiques très défavorables au milieu de l'océan.

3.2.4. L'énergie hydrolienne (énergie des courants marins)

L'énergie hydrolienne exploite le courants marins qui font tourner les pales d'une hydrolienne sous l'eau. Le courant marin est prévisible et particulièrement fort sur certain site, ce qui fait la force de cette énergie.

Cette énergie est celle qui s'identifie le plus dans notre projet. Nous allons donc en détailler le fonctionnement. Concrètement, une hydrolienne se compose d'une roue (le rotor, la partie rotative) avec une hélice constituée de pales (le moteur de la turbine), le tout monté sur un arbre (un stator, la partie fixe).

Le fonctionnement d'une hydrolienne peut se décomposer ainsi :

1. La rotation des pales de l'hélice, réalisée par les courants marins, entraîne une turbine qui génère un mouvement mécanique. La turbine de l'hydrolienne fonctionne dans les deux sens du courant marin ;
2. la rotation de la turbine de l'hydrolienne entraîne un alternateur (générateur électrique), qui convertit l'énergie mécanique en un courant électrique alternatif et variable (selon l'intensité du courant marin) ;
3. le courant électrique alternatif est ensuite conduit à la terre *via* un câble de connexion, puis transformé par un convertisseur pour être « élevé » (adapté) aux lignes électriques à haute tension ;
4. Le courant électrique est acheminé *via* des câbles sous-marins vers le réseau électrique.

3.2.5. Les Énergies Marines Renouvelables en France:

Compte tenu des atouts naturels de son territoire, la France dispose d'un fort potentiel de développement pour ces technologies . La ressource connue, estimée entre 2000 et 3000 MW, est concentrée majoritairement au large des côtes de Normandie, de Bretagne et des Pays de la Loire, et des opportunités sont aussi à saisir dans les territoires d'outre-mer, et dans les régions Aquitaine, Languedoc-Roussillon et Provence Alpes Côte d'Azur. Aujourd'hui, à l'exception notable de l'usine marémotrice de la Rance, il n'y a pas encore de parc de production en France, mais de nombreux projets de démonstration sont en cours de déploiement. Voici une carte présentant un panorama des projets les plus avancés en 2017.



Figure 4: Carte des projets les plus avancés sur les énergies renouvelables en France

3.3. Reprise des travaux des années précédentes

Le projet de 2020 proposait donc un système avec bassin rectangulaire et une turbine horizontale. Le système possède donc un début et une fin puisque l'eau une fois arrivée au bout du bassin stagne avant d'être renvoyée au début du système par la pompe. Au contraire, le projet de 2021 lui proposait un système de bassin circulaire avec un courant qui tournerait autour d'un îlot intérieur circulaire en continu. Les turbines seront, elles, verticales avec des turbines de type Achard.

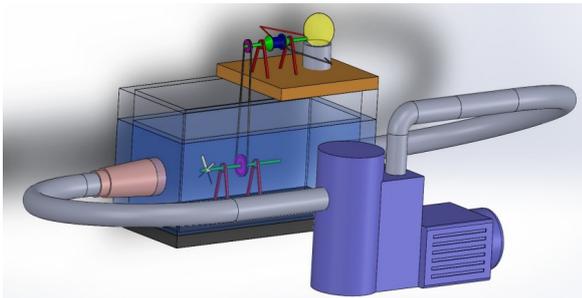


Figure 5: Projet de 2020

Nous avons donc choisi de nous pencher sur la conception du projet de l'année dernière plutôt que celui d'il y a deux ans. Nous avons fait ce choix car le système fermé du bassin avec un courant continu qui tourne dans ce bassin circulaire du projet de 2021 nous paraissait plus intéressant à mettre en œuvre. Les turbines verticales nous semblent également être une bonne idée bien que nous en changeons le type comme nous le verrons plus tard.

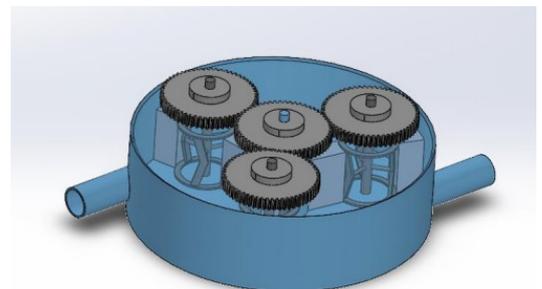


Figure 6: Projet de 2021

Une grande partie de notre travail a donc été dans un premier temps de se documenter sur les rapports des années précédentes pour pouvoir faire nos choix avant de commencer à faire les devis et acheter les pièces nécessaires à la construction de notre banc. Dans la prochaine partie nous verrons donc comment nous avons pu avancer dans notre projet et les choix que nous avons fait.

3.4. Notre projet

3.4.1. Description générale

Suite à l'étude des systèmes pensés par les groupes des années précédentes, comme expliqué en première partie, et à la réflexion d'apports qui nous ont paru nécessaires, nous avons pu former une idée claire de la forme désirée de notre projet. Dans un bassin formé par l'espace entre deux cylindres concentriques, de l'eau est mise en circulation à l'aide d'une pompe. Les entrée et sortie de cette pompe sont placées dans deux trous quasiment adjacents sur la paroi du cylindre extérieur, afin de favoriser un tour complet du bassin dans le parcours de l'eau. Trois turbines, dont les diamètres correspondent à la largeur du bassin, sont placées à l'intérieur à intervalle régulier. Lorsque la pompe est actionnée, l'eau se met alors à circuler dans le bassin, et les turbines à tourner chacune autour de leur axe. Cette rotation est favorisée par les roulements bille qui assurent la liaison entre le bassin et chacune des turbines.

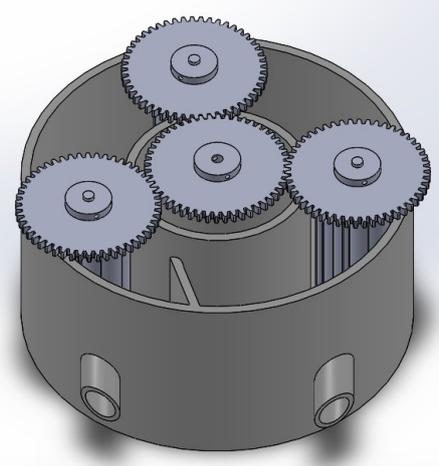


Figure 7: Montage final modélisé sur SolidWorks

Pour transmettre le mouvement mécanique alors obtenu, un engrenage est placé et lié par encastrement au-dessus de chaque turbine. Le mouvement est ainsi communiqué à un engrenage central, qui le transmet lui-même à une dynamo.

3.4.2. Turbine

Contrairement à l'idée initiale de conserver les turbines de type Achard comme prévu par le projet de 2021. Nous avons fait le choix, sur les conseils de David du département mécanique, de revenir à un choix de turbine plus classique. En effet, la turbine Achard sur notre projet aurait pu poser quelques problèmes. Sa forme, permettant à l'eau de passer entre les pales, aurait pu amener un dysfonctionnement du système puisque l'eau aurait potentiellement pu passer entre les pâles sans les faire tourner et ainsi rendre le système dysfonctionnel. L'eau, n'étant pas un élément aussi facile à gérer que l'air par exemple, doit être contrainte à faire tourner la turbine pour continuer sa route pour être sûr que la turbine tourne bien. C'est donc pour cela que nous avons fait le choix de changer de turbine.

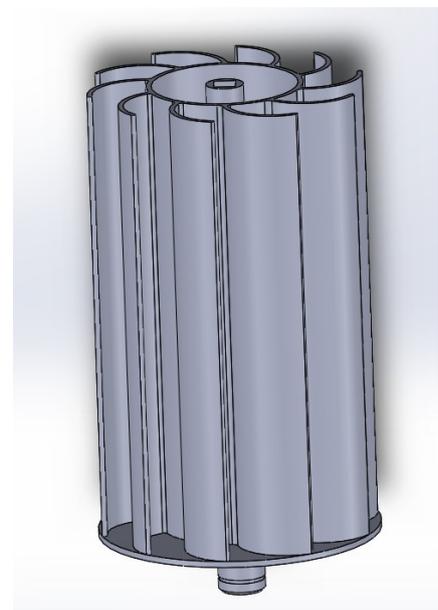


Figure 8: Modélisation de notre turbine sur Solidworks

Notre turbine est donc plus classique en s'inspirant plus du styles des turbines que l'on retrouve sur les moulins à eau. La turbine a donc des dimensions de 15 centimètres de hauteur pour un diamètre de 9 centimètres pour pouvoir s'incruster parfaitement dans la bassin avec une distance entre les deux anneaux de 10 centimètres. Ainsi la turbine rentre parfaitement dans le bassin sans frottements contre celui-ci. De plus, prenant toute la largeur du bassin, la turbine force l'eau à devoir la faire tourner pour pouvoir s'écouler. Cette turbine possède donc 10 pales suffisamment rapprochées pour faire en sorte qu'il n'y est pas de position ou l'eau pourrait s'écouler sans avoir sur sa route une pale.



Figure 9: Turbine imprimée en 3D

Nous avons choisi d'imprimer notre turbine grâce aux imprimantes 3D de l'INSA pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ce choix repose sur des raisons économiques car acheter une turbine coûte trop cher par rapport au budget qui nous est alloué surtout qu'il faut prendre en compte l'achat des autres composants et en particulier l'achat de la pompe qui est onéreuse et dont nous n'avons pas d'autre solution pour en acquérir une. La seconde raison de ce choix est pratique, car trouver une turbine sur le marché qui s'adapte parfaitement aux dimensions de notre bassin est quasiment impossible d'autant plus lorsque l'on y ajoute le problème du prix. Ainsi, nous avons directement modélisé la turbine sur SolidWorks et transmis notre fichier sous format .stl à Monsieur Pascal Williams qui a imprimé la turbine. Enfin, ce choix est aussi un choix de matériau puisque l'imprimante 3D utilise une résine plastique qui nous convient totalement car elle ne se détériore pas dans l'eau.

Au niveau de la rotation de la turbine, nous avons opté pour un système de roulement étanche afin qu'il soit fonctionnel dans l'eau et qu'il ne se détériore pas rapidement. Ce roulement vient s'intégrer directement sur l'arbre inférieur de la turbine qui a été désigné en fonction de la taille de la bague intérieure de notre roulement. Afin que le roulement ne bouge pas et que le système soit fonctionnel, une rainure a été conçue par nos soins pour permettre la présence d'un anneau élastique. Ainsi, le roulement est bloqué sur l'arbre inférieur de la turbine permettant un meilleur rendement.

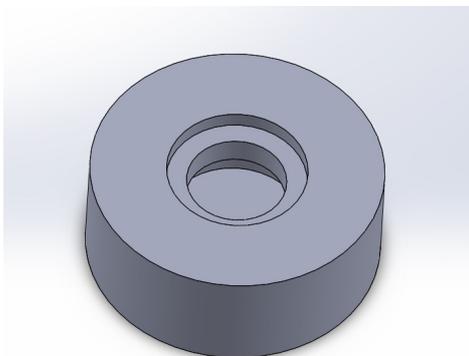


Figure 10: Pièce pour attacher la turbine et le bassin en conservant la rotation

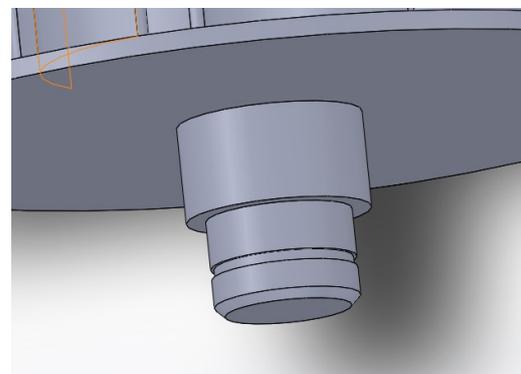


Figure 11: arbre de la turbine pour attacher le roulement

Le système d'attache de la turbine est lui aussi imprimé en 3D, il a été conçu par nos soins afin que le roulement se pose exactement sur le socle sans frotter ni avec l'arbre de la turbine ni avec le dessous de la turbine ce socle et la turbine seront donc accrochés par un système de colle forte liant la bague extérieure du roulement avec le socle de la turbine. La liaison entre la turbine et les engrenages se fait également par une pièce que nous avons modélisé nous même et qui est donc un prolongement de la turbine qui vient directement s'emboîter dans la turbine elle-même. Ce prolongement de l'arbre de la turbine va donc accueillir un engrenage grâce à un trou permettant d'installer une goupille permettant de lier l'arbre et l'engrenage et donc de transmettre le couple créé par la turbine.

3.4.3. Bassin

Lors du choix du bassin, deux options s'offraient à nous. La première est celle d'un bassin rectangulaire, proposé dans le projet 2020. Cette dernière est très peu rentable en matière de performances. En fait, la présence de discontinuités sur les parois entrave l'écoulement de l'eau et favorise la création de turbulences causant la perte d'énergie cinétique. La deuxième option est la proposition du projet 2021. En effet, ces recherches ont abouti sur un bassin décagonal, car bien que ce ne soit pas la solution la plus efficace, il semblait être plus réalisable qu'un bassin circulaire. Ce dernier était d'un meilleur rendement. Ainsi, pour maximiser la rentabilité du système, nous avons opté pour un bassin de géométrie circulaire que nous avons fabriqué de manière artisanale.

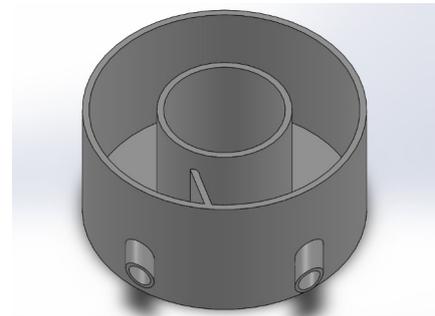


Figure 12: Modélisation du bassin sur Solidworks

Notre bassin est constitué d'un cercle extérieur de 40 cm de rayon et d'un cercle intérieur de 20 cm de rayon. Cette disposition nous a permis de créer une boucle afin de contraindre l'eau à suivre le chemin voulu. En effet, l'idée est de créer un flux dirigé par l'entrée, la sortie et les 3 turbines. La hauteur du bassin est de 20 cm. De plus, le bassin est muni de deux tuyaux accrochés au bassin qui constituent une entrée et une sortie du système. Aussi, on y retrouve une cloison qui sert à contraindre l'eau à faire un tour complet autour du cercle intérieur et à ne pas ressortir directement par la sortie.



Figure 13: Photo du bassin construit

En ce qui concerne le matériau choisi pour élaborer le bassin, notre choix primaire était le plexiglas car il est moins fragile que le verre, étanche, résistant et transparent. Cependant, il s'est avéré que ce matériau nécessite de grands moyens pour être modelé. Nous nous sommes donc penché sur un autre matériau équivalent, à savoir le Forex. C'est un panneau de mousse rigide, blanche et fine en PVC.

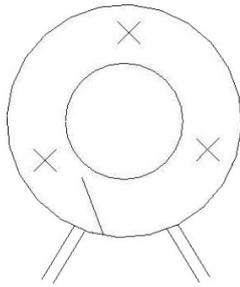


Figure 14: Représentation du bassin avec cloison et turbines (croix)

3.4.4. Engrenages

Pour le système d'engrenages, nous nous sommes basés sur le travail de l'année précédente. Nous avons donc repris ce système avec les engrenages au-dessus du bassin, sans rapport de réduction. Nous avons donc dû faire des calculs pour pouvoir modéliser nos engrenages. Nous savons donc que : $d = m \cdot Z$

Or nous avons un entraxe de 150mm et un module initial de 4 choisi par le groupe de l'année dernière. Mais cela nous donne un nombre de dents de 37,5. Nous avons donc opté pour un module de 3 pour éviter des problèmes causés par des jeux dus aux nombres de dents des engrenages qui ne seraient pas optimales. De plus, un module de 3 permet plus de contact entre les dents et donc de rester efficace en cas de rotation rapide, cela nous a paru être un bon compromis. Ainsi,

$$Z = d/m = 150/3 = 50 \text{ dents}$$

Nos engrenages sont donc dimensionnés pour notre système et doivent être imprimés en 3D. Les avantages de l'impression 3D pour les engrenages sont donc financiers car évidemment le coût sera moins élevé mais surtout ils sont parfaitement adaptés à notre système en plus d'être en plastique et donc léger ce qui ne freinera pas notre système par rapport à un engrenage en métal par exemple.

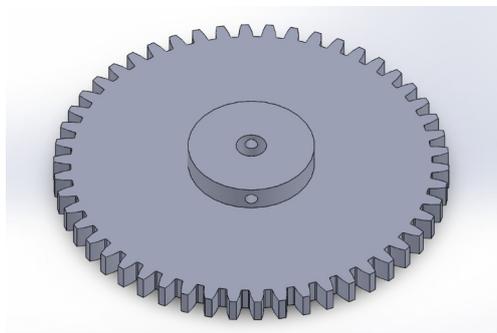


Figure 15: Modélisation de l'engrenage convenant à notre système sur SolidWorks

3.4.5. Pompe

La pompe est un élément central de notre système. Sans elle, nous ne pouvons faire fonctionner notre banc et prouver son efficacité. En effet, celle-ci permet de faire circuler de l'eau dans le bassin, qui ferait tourner par la suite les différentes turbines. En revanche, nous ne possédons pas les capacités de réaliser notre pompe, c'est pourquoi nous nous sommes tournés vers l'achat d'une pompe déjà existante. Cependant il fallait dimensionner cette pompe, suffisamment puissante pour allumer une petite diode sans être trop forte pour éviter tout surcoût. Ainsi en se basant sur les calculs des rapports précédents, nous avons pu déterminer par le calcul qu'une pompe d'au moins 12500 L/h était suffisante pour fournir les 60 mW nécessaires pour allumer la diode.

L'application numérique peut être retrouvée dans l'Annexe 3.

La turbine capte l'énergie cinétique de l'eau pour ensuite la restituer sous forme d'énergie mécanique de rotation. La puissance générée par la turbine s'exprime par la formule :

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot C_p \cdot S \cdot v^3$$

Avec $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ la densité volumique de l'eau, C_p le coefficient hydrodynamique de la turbine, S la surface équivalente balayée par les pales de la turbine et v la vitesse de l'eau. C_p est limité à 0,64 (16/25) pour une turbine verticale d'après la loi de Betz.

Cette formule peut se démontrer de la manière suivante :

L'énergie cinétique d'un corps (en Joules) s'exprime avec la formule :

$$E_c = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

Avec m la masse d'eau et v sa vitesse.

La puissance s'exprime en Watt, soit des Joules par seconde. On en déduit donc :

$$P = E_c/t$$

Avec t le temps en secondes.

Si nous considérons un volume d'eau V_0 d'eau, on peut écrire :

$$m = \rho \cdot v \cdot S \cdot t$$

Puis par la suite en déduire que :

$$P = (1/2 \cdot m \cdot v^2) / t = (1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot t \cdot v^3) / t$$

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

On retrouve ainsi l'expression de la puissance cinétique en multipliant cette expression par C_p .

La surface balayée S pour une turbine d'axe vertical est déterminée par la formule :

$$S = 2 \cdot R \cdot H$$

Avec R le rayon et H la hauteur.

En ce qui concerne la vitesse de l'eau v , celle-ci dépend du débit et de la surface S' traversée par le fluide.

Il faut différencier les surfaces S' et S : $S' = S + S_{axe}$

Avec S la surface balayée par les pales et S_{axe} la surface occupée par l'axe de rotation de la turbine.

La vitesse de l'eau est donc définie par la formule :

$$v = \text{débit} / S'$$

Avec le débit exprimé en m^3/s . Il ne faut cependant pas oublier la conversion car le débit d'une pompe est généralement exprimé L/h.

Maintenant que l'on a la puissance mécanique d'une turbine, celle-ci va se combiner avec les deux autres avec un rendement de 0,95 provenant des systèmes d'engrenages. Et enfin il y a un rendement de 0,65 de la dynamo.

En définissant la puissance nécessaire à la fin du banc, on peut définir le débit nécessaire à avoir et donc dimensionner la pompe.

3.4.6. Système électrique

Afin de prouver la fonctionnalité du banc, il était nécessaire de le lier à un système à alimenter électriquement. Étant donné le peu d'énergie que le système devrait apporter théoriquement, nous nous sommes tournés vers des petites lampes de l'ordre de la diode. De plus, ayant un budget limité, il nous fallait trouver une solution peu onéreuse.

Nous avons donc décidé de nous tourner vers une dynamo provenant d'un jeu pour enfant, une éolienne éducative, permettant d'allumer une petite diode reliée par un petit système électrique. Ainsi, lorsque le système se mettra en marche, la rotation des turbines entraînera celle de la dynamo par le système d'engrenage et allumera donc la diode. Cela montrera l'efficacité de notre système.

Nous avons également pensé, si l'énergie produite est plus conséquente, à récupérer un alternateur, dans une casse notamment qui pourrait en fournir pour un coût moindre.

3.4.7. Problèmes rencontrés

L'un des principaux soucis auquel nous avons été confrontés était d'ordre financier. En effet, lors de nos débuts, notre devis avoisinait les 359,26€ qui nous ont été refusés. Nous avons, de ce fait, dû optimiser notre devis. Il a donc fallu déterminer les pièces qu'il était possible de réaliser par nous mêmes, par impression 3D ou encore par contact extérieur personnel. Ainsi, nous avons pu remarquer que seule la pompe était nécessaire à commander pour concrétiser notre projet. Mais le prix et les incertitudes dues aux problèmes que nous continueront d'énumérer par la suite ne nous ont pas permis de concrétiser l'achat de la pompe.

Le plus gros problème auquel il a fallu faire face est que le dimensionnement de tout notre système repose sur la taille de notre bassin. Ainsi, sans bassin, les avancés ne pouvaient pas être concrètes puisqu'il est impossible de nous fixer sur une puissance de pompe, une taille de turbine ou encore d'engrenage. Bien que l'on se soit décidé pour le design, la forme et le matériau, il fallait trouver un moyen de l'avoir physiquement. Dans un premier temps, nous nous sommes tournés vers les poubelles, dont on aurait pu utiliser le fond pour notre projet, mais aucune ne répondait parfaitement à nos critères : pas assez ronde, les bords pas verticaux et droits, etc. Finalement, nous avons trouvé un artisan marocain par un contact qui propose comme service la réalisation de bassins faits main et customisés, ce qui fut notre choix final. Cette opportunité s'est présentée assez tard sans que nous ayons trouvé de solution concrète dans le même temps ce qui nous a causé du retard mais aussi des gros doutes dans notre projet. Finalement, ces doutes bien que pas forcément agréables à gérer nous ont permis de redoubler d'effort pour trouver une solution

et mener à bien notre projet, d'autant plus que c'est un apprentissage important puisque nous ferons nécessairement face à des situations similaires dans notre carrière d'ingénieur.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES POUR L'AMÉLIORATION DU BANC

En conclusion, nous regrettons de ne pas avoir réussi à finir la construction du banc hydraulique. Cependant, nous sommes fiers d'avoir réussi à surmonter les problèmes rencontrés tout au long du projet et de concrétiser notre projet en ayant réalisé physiquement des pièces et le bassin. Avec un peu plus de temps et de moyens nous aurions sûrement pu réaliser notre projet. De plus, nous avons appris beaucoup de choses durant ce projet comme le travail en équipe, la modélisation 3D et le fait de devoir s'adapter aux problèmes rencontrés. Finalement, nous avons aimé travailler sur ce projet.

Notre projet, bien que pas entièrement réalisé, pourrait être amené à subir quelques changements dans le futur. C'est pourquoi, nous réfléchissons d'ores et déjà à des pistes d'améliorations.

Dans un premier temps, nous pouvons nous tourner vers les matériaux composant la turbine qui de par sa nature d'impression en 3D, présente une certaine rugosité qui pourrait générer une baisse de rendement du banc. Il serait donc intéressant de parvenir à rendre les pales plus lisses afin de pallier ce problème. Il serait par exemple possible de poncer les pales pour rendre la turbine plus efficace. Dans la même optique, le bassin présente lui aussi quelques imperfections comme le fait qu'il soit légèrement ovale rugueux, venant du fait que ce soit justement artisanal et non par machine. Un ponçage pourrait également supprimer la rugosité. Cependant, la forme imparfaite du bassin pourra poser quelques problèmes. Ainsi, il faudra choisir des bons emplacements pour éviter des frottements entre les cloisons du bassin et la turbine. Corriger les imperfections du bassins pourrait donc être un bon moyen de rendre le banc hydraulique plus efficient.

Au niveau des engrenages, il pourrait être intéressant d'installer un rapport de réduction pour créer plus de puissance électrique de sortie et avoir un banc plus efficace. Pour améliorer la partie engrenage, mettre en place un système d'engrenages hélicoïdales pourrait également ajouter une plus valeur au système car ce type d'engrenage à un meilleur rendement (0,98 contre 0,95) en plus d'avoir une durée de vie plus longue. Graisser les engrenages est aussi un moyen de booster les performances du système. Ainsi, étudier les graisses pour les engrenages notamment de matière plastique peut être une piste d'amélioration pour notre système.

Ainsi, en construisant un banc plus puissant et efficace, cela offrirait plus de possibilités pour rendre le banc plus intéressant aux yeux du public en installant par exemple un système pour recharger son téléphone plutôt qu'allumer une diode. Cela est donc une piste d'amélioration à prendre en compte au vue de l'objectif de ce banc qui est éducatif pour intéresser les gens aux énergies renouvelables. En rendant le banc plus attrayant, les gens s'intéressent forcément plus au système.

5. BIBLIOGRAPHIE

- « Énergies marines renouvelables », Ministère de la transition écologique: <https://www.ecologie.gouv.fr/energies-marines-renouvelables-0-> (valide à la date du 04/06/2022).
- « Les énergie renouvelables », Syndicat des énergies renouvelables: <https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/les-energies-renouvelables/energies-marines-renouvelables/> (valide à la date du 04/06/2022).
- « L 'éolien en mer », EDF: <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/l-eolien-en-mer> (valide à la date du 04/06/2022).
- « L »énergie marémotrice », planete energie : <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/l-energie-maremotrice> (valide à la date du 04/06/2022).
- «Le solaire photovoltaïque», energies-renouvelables : http://www.energies-renouvelables.org/solaire_photovoltaique.asp
- «Energie éolienne», Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Énergie_éolienne
- «Le solaire thermique basse température», energies-renouvelables : http://www.energies-renouvelables.org/solaire_thermique.asp
- «Energie solaire thermique haute température», energies-renouvelables : http://www.energies-renouvelables.org/solaire_thermique_ht.asp
- «Solaire thermique», Connaissance des énergies : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermique>
- «Energies marines», Connaissance des énergies : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energies-marines>
- «Découvrir l'énergie osmotique», TotalEnergies : https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/comprendre-le-marche-de-l-energie/decouvrir-l-energie-osmotique?gclid=CjwKCAjw14uVBhBEEiwAaufYx-xDs_niVgOer1YI9caBEGma0MINbGSw_N6zEfbw7vdVaKG0lxRXxoC_3YQAvD_BwE
- «Energie osmotique», Connaissance des énergies : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-osmotique>
- «Energie thermique des mers (ETM)», Connaissance des énergies : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-thermique-des-mers-etm>
- «Etude théorique d'une éolienne», Wiki Eolienne : https://eolienne.f4jr.org/eolienne_etude_theorique

6. ANNEXES :

6.1. Autres énergies marines

6.1.1. L'énergie thermique des mers

L'énergie thermique des mers (ETM) consiste à exploiter la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes afin de générer de l'électricité. C'est une énergie renouvelable disponible jour et nuit, abondante mais son exploitation se limite aux zones intertropicales. En effet, l'eau capte les rayons du Soleil de façon optimale dans ces zones, car les rayons sont perpendiculaires aux eaux. De cette manière, l'eau en surface présente une chaleur suffisamment élevée pour ne pas se mélanger avec les eaux profondes plus froides. Des volumes d'eaux profondes et de surface sont ensuite pompés puis leur différentiel de température est exploité afin de produire de l'électricité. Néanmoins le rendement de cette source d'énergie reste assez faible et est encore en cours de développement.

Ils existent en tout trois types de centrales ETM : en cycle ouvert, en cycle fermé et en cycle hybride.

En cycle ouvert, de l'eau de surface est puisée puis passe dans un évaporateur sous où une faible quantité va justement s'évaporer. La vapeur de cette eau va ensuite actionner une turbine qui va produire de l'électricité, avant de passer dans un condenseur où elle va redevenir liquide.

En cycle fermé, le même circuit est suivi sauf qu'un autre fluide caloporteur est utilisé, avec un point de condensation aux environs de 4°C. Dans l'évaporateur, l'eau chaude va transmettre sa chaleur à ce fluide dont la vapeur active la turbine, puis l'eau froide en profondeur la fera redevenir liquide dans le condenseur.

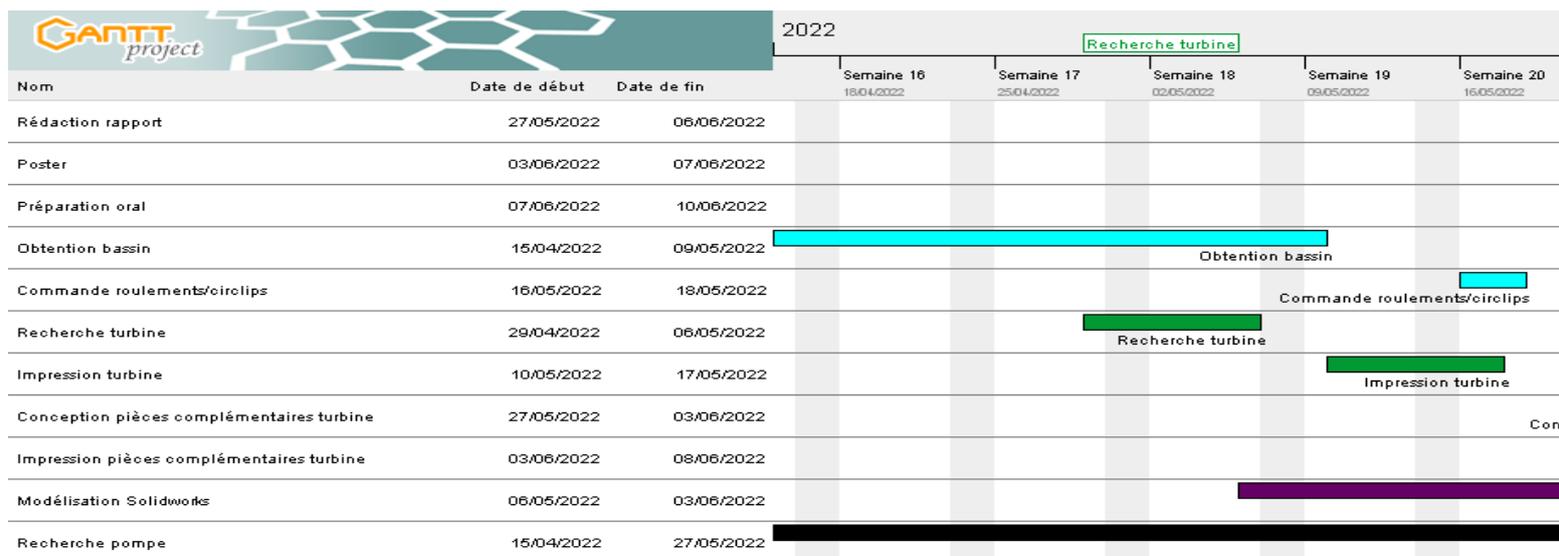
Le circuit hybride, quant à lui, consiste à superposer, à un circuit fermé, un étage produisant de l'eau douce à partir d'un circuit ouvert.

6.1.2. L'énergie osmotique

L'énergie osmotique est l'énergie utilisant la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce, les deux étant séparés par une membrane. Le déplacement de volumes d'eau crée une pression qui est par la suite exploitée pour actionner une turbine afin de produire de l'électricité. Il s'agit encore d'une source d'énergie expérimentale qui nécessite de l'investissement et de la recherche pour compenser sa faible performance actuelle.

Ce déplacement est dû à un phénomène que l'on nomme l'osmose. Dans de l'eau salée, on peut trouver du sodium ou du chlorure qui sont absents dans l'eau douce. Quand les deux types d'eau se côtoient, une membrane semi-perméable apparaît, bloquant tout ion de passer d'un liquide à l'autre. Cependant, un équilibre entre salinité et pression va se réaliser entre ces liquides. En effet, des molécules d'eau vont transiter de l'eau douce vers l'eau salée. Et c'est de ce mécanisme naturel que l'on va utiliser la pression pour activer une turbine.

6.2. Diagramme de Gantt



6.3. Calcul du débit de la pompe

Données :

Rayon de la turbine : $R = 4,5 \text{ cm}$

Hauteur de la turbine = 15 cm

Rayon de l'axe de révolution : $R_{axe} = 2,5 \text{ cm}$

On suppose qu'il faille une pompe de 14200 L/h comme le groupe précédent avec leur montage :

débit=14200 L/h

débit = $14,2 \text{ m}^3/\text{h}$

débit = $14,2/3600 \simeq 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

(car $1\text{L} = 10^{-3} \text{ m}^3$)

La surface S' est une surface rectangulaire de valeur : $S' = 2 * R * H = 2 * 4,5 * 15 = 135 \text{ cm}^2$

On en déduit la vitesse v : $v = \text{débit} / S' = 3,9 * 10^{-3} / (135 * 100^2) = 0,29 \text{ m/s}$

La surface balayée par les pales S se calcule de manière similaire à S' :

$$S = 2 * (R - R_{\text{axe}}) * H = 2 * (4,5 - 2,5) * 15 = 60 \text{ cm}^2 = 0,6 * 10^{-2} \text{ m}^2$$

On peut ainsi calculer la puissance cinétique :

$$P_{\text{cinétique}} = 1/2 * \rho * S * v^3 = 1/2 * 1000 * (0,6 * 10^{-2}) * 0,293$$

$$P_{\text{cinétique}} = 7,32 * 10^{-2} \text{ W}$$

En passant successivement par la turbine de rendement 16/25 nous obtenons la puissance :

$$P_{\text{méca,turbine}} = 16/25 * 7,32 * 10^{-2} = 4,68 * 10^{-2} \text{ W}$$

Le système d'engrenages a un rendement théorique de 0,95. De plus, les trois turbines sont reliées entre elles par leur système respectif, additionnant leur puissance. Nous obtenons donc :

$$P_{\text{méca,engrenages}} = 3 * 0,95 * 4,68 * 10^{-2} = 13,35 * 10^{-2} \text{ W}$$

Enfin, le rendement de la dynamo est de 0,65, ce qui nous donne :

$$P_{\text{électrique}} = 0,65 * 13,35 * 10^{-2} = 8,67 * 10^{-2} \text{ W}$$

$$P_{\text{électrique}} = 86,7 \text{ mW}$$

Tous ces calculs ont été effectués sur un document Excel afin de trouver une puissance sortante électrique avoisinant les 60 mW.

	A	B	C	D	E
1	Débit (L/h)	14200		Données :	
2	Débit (m3/s)	0,003944444444		ρ	1000
3	v (m/s)	0,29218107		C_p	0,64
4	S' (cm2)	135		Raxe (cm)	2,5
5	S (cm2)	60		R (cm)	4,5
6	Saxe (cm2)	75		H (cm)	15
7					
8	Pcinétique (W)	0,07483029892			
9	Pméca,turbine (W)	0,04789139131			
10	Pméca,engrenage (W)	0,1364904652			
11	Pélec (W)	0,0887188024			
12	Pélec (mW)	88,7188024			

Figure 16: Extrait du tableur permettant de calculer le débit de la pompe 1/2

	A	B	C	D	E
1	Débit (L/h)	12500		Données :	
2	Débit (m3/s)	0,003472222222		ρ	1000
3	v (m/s)	0,2572016461		C_p	0,64
4	S' (cm2)	135		Raxe (cm)	2,5
5	S (cm2)	60		R (cm)	4,5
6	Saxe (cm2)	75		H (cm)	15
7					
8	Pcinétique (W)	0,05104373978			
9	Pméca,turbine (W)	0,03266799346			
10	Pméca,engrenage (W)	0,09310378135			
11	Pélec (W)	0,06051745788			
12	Pélec (mW)	60,51745788			

Figure 17: Extrait du tableur permettant de calculer le débit de la pompe 2/2

6.4. Devis de la pompe

Ci-dessous se trouve les différentes pompes respectant au mieux le critère de débit avec leur prix et fournisseur :

	A	B	C	D	E	
1	Achats:	Prix	Frais de port	Coût	Vendeur	Adresse web
2	Pompe bassin de jardin	202,99 €	0,00 €	202,99 €	Le Poisson Qui Jardine	https://www.lepoissonquijsa.com
3	Pompe Bassin De Jardin	187,99 €	0,00 €	187,99 €	Le Poisson Qui Jardine	https://www.lepoissonquijsa.com
4	POMPE BLUE BELLA III	204,90 €	0,00 €	204,90 €	Garda Aquatic	https://www.garda-aquatic.com
5	Pompe AQUA NOVA NFPX 1	149,90 €	0,00 €	149,90 €	Garda Aquatic	https://www.garda-aquatic.com
6	POND ECO PLUS RC	235,90 €	0,00 €	235,90 €	Garda Aquatic	https://www.garda-aquatic.com
7	VELDA Green Line	229,90 €	0,00 €	229,90 €	Akoua'Shop	https://www.akouashop.co

Figure 18: différentes pompes correspondant aux attentes de notre système

6.2 : Phénomènes liés à l'écoulement d'un fluide

6.4.1. Turbulences:

En dynamique de fluides, on distingue deux types de comportements. Chacun de ces deux comportements est caractérisé par un régime d'écoulement: le régime laminaire et le régime turbulent.

L'écoulement laminaire se produit à de faibles vitesses où les frottements contre les parois du système sont minimes. La trajectoire des particules est donc parallèle à l'axe du tuyau. A des vitesses plus importantes et à faible viscosité, les frottements du liquide sur les parois engendrent des turbulences qui perturbent la trajectoire des particules.

Un débit turbulent est également causé par la présence de restrictions dans une installation comme les vannes ou les adaptateurs. En effet, à chaque restriction, le débit est interrompu et la vitesse du gaz change. La longueur de la conduite doit être aussi prise en compte.

Ces turbulences causent la dissipation d'énergie cinétique ce qui minimise le rendement du frottement.

Afin d'éviter ce phénomène, plusieurs mesures peuvent être appliquées. Parmi des mesures, toutes les surfaces internes doivent être lisses pour minimiser les frottements.

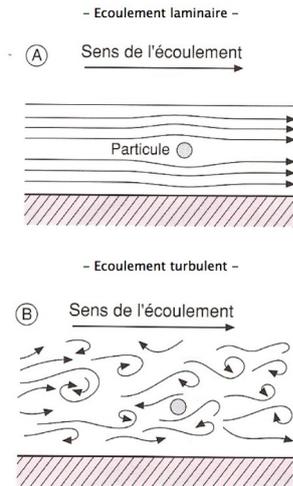


Figure 19: (A) écoulement laminaire

Texte 1: Schéma d'écoulement laminaire et d'écoulement turbulent

Texte 2: Schémas d'écoulement laminaire et d'écoulement turbulent

6.4.2. Cavitation:

La cavitation est la formation et l'éclatement brutal de bulles de vapeur. Ce phénomène a lieu dans les parties internes de la pompe où la pression descend en dessous de la tension vapeur du liquide pompé. La tension vapeur d'un liquide est la pression à laquelle il commence à bouillir ou à s'évaporer.

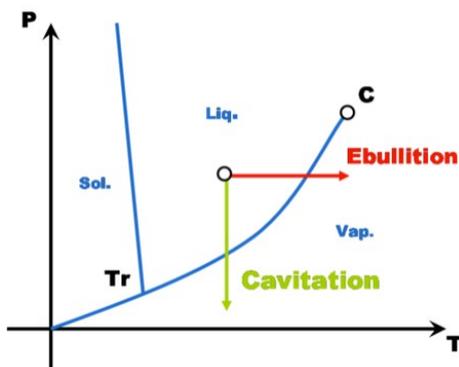


Figure 20: Diagramme pression/Température de l'eau présentant la cavitation

La cavitation se manifeste essentiellement par son bruit, l'érosion qu'elle suscite et par une altération des performances du système hydraulique considéré. A petite échelle, nous n'avons aucune chance de rencontrer ce problème car la cavitation a lieu en présence de fort débit ou de très hautes pressions.

6.4.3. Pièces achetées

- <https://www.123roulement.com/roulements-6802-2RS> (roulements étanches disponible en Juin 2022)
- <https://www.123roulement.com/accessoires-CIRCLIP-EXT-15> (circlips extérieurs disponible en Juin 2022)

Liens des pompes du devis (cf 6.4)

- <https://www.lepoissonquijardine.fr/pompes-bassin/8016-pompe-bassin-de-jardin-economique-14000-lh-performante-et-puissante-3000080169564.html>
- <https://www.lepoissonquijardine.fr/pompes-bassin/7223-pompe-bassin-de-jardin-hyper-eco-14000-lh-120w-3000722397072.html>
- <https://www.garda-aquatic.com/pompe-osaga/3759-pompe-blue-bella-iii-15000-4250247620851.html>
- <https://www.garda-aquatic.com/pompes-aqua-nova/3887-aqua-nova-nfpx-15000-lh-5903031442717.html#plusinfo>
- <https://www.garda-aquatic.com/pompes-superfish/3302-superfish-pond-eco-plus-rc-15000-variateur-07070610-8715897269301.html>
- <https://www.akouashop.com/pompes-d-aquarium/pompe-speciale-bassin/velda-green-line-12500-l-h-pompe-de-bassin-110w-faible-consommation-d-energie.html>