

Énergies marines renouvelables – Conception d'un banc hydraulique



Etudiants :

Zoé NOVARRE

Camille RIQUIER

Keryan VIEILLE

Maelwenn ROHOU

Noelie ARNOLD

Capucine GARREAU

Enseignant-responsable du projet :

Abdellah HADJADJ

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **17/06/2023**

Référence du projet : **STPI/P6/2023 – 008**

Intitulé du projet : ***Développement des énergies marines renouvelables***

Type de projet : ***Expérimentation, modélisation, bibliographique***

Objectifs du projet :

Les objectifs de ce projet sont multiples. Dans un premier temps, cela nous permet de se familiariser avec les énergies marines.

L'objectif principal est la conception du banc hydraulique : étude des pièces et leur agencement, trouver des alternatives permettant le fonctionnement du banc et enfin le travail en équipe.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : ***Énergies marines renouvelables***

Impression

Conception

Remerciements

Nous tenons à remercier, dans un premier temps, Monsieur Hadjadj. Il nous a encadré et aidé tout au long de ce projet. Ses conseils nous ont permis de structurer notre projet et de nous aider à avancer entre chaque étape de la réalisation.

Nous remercions également le laboratoire mécanique et particulièrement Monsieur David Paresy et Benjamin Mouard, pour leurs conseils et leur aide dans la réalisation et la conception de notre prototype de notre banc.

Nous souhaitons remercier les anciens membres de ce projet pour nous avoir aidé au début du projet et avoir répondu à nos questions.

Merci aussi à Mr. Arnold pour son matériel et sa confiance.

Finalement, nous remercions Pascal Williams pour sa disponibilité face à nos demandes.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	7
2. ORGANISATION ET METHODOLOGIE	7
3. LES ÉNERGIES MARINES	8
3.1. Différents types d'énergies	8
3.1.1. L'énergie éolienne en mer	8
3.1.2. Thermique.....	9
3.1.3. Houlomotrice.....	10
3.1.4. Marémotrice.....	11
3.1.5. Hydrolienne.....	12
3.2. Le Potentiel Théorique.....	13
3.3. LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX.....	14
3.3.1. Les impacts environnementaux	14
Bruits et vibrations	14
Modification de l'habitat.....	15
Conclusion	17
3.3.2. Matériaux plus écologiques	17
4. CONSTRUCTION DU BANC.....	18
4.1. Réflexion sur les rapports précédents	18
4.1.1. Bilan des avancées des années précédentes	18
4.1.2. Notre choix.....	19
4.2. La conception de notre projet	19
4.2.1. Pièces récupérées des années précédentes	19
4.2.2. Pièces ajoutées	20
4.2.3. Problèmes rencontrés.....	21
5. CONCLUSION	22
6. Bibliographie	24
7. Annexes.....	25
7.1. Schémas de montages, plans de conception	25
7.2. Calcul puissance de la pompe.....	25
7.3. Pièces achetées.....	26
7.4. Rendement	26

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Diagramme de Gantt.....	8
Figure 2 : Carte du potentiel houlomoteur indiquant la puissance moyenne en kW / mètre linéaire de front de vague.....	10
Figure 3 : Carte du potentiel hydrolien mondial	13
Figure 4 : Banc de 2020	19
Figure 5 : Amélioration du banc de 2020	19
Figure 6 : Banc de 2022	19
Figure 7 : Modélisation du banc avec le couvercle	20
Figure 8 : Réalisation du banc	20
Figure 9 : Amélioration avec ajout d'une paroi	20
Figure 10 : Banc en U	21
Figure 11 : Première version du banc	25
Figure 12 : Banc remplis	25
Figure 13 : Fichier Excel pour la puissance électrique délivrée	26
Figure 14 : Butée à billes.....	26
Figure 15 : Calcul puissance électrique disponible en sortie avec notre pompe	26

1. INTRODUCTION

Un des enjeux mondiaux actuel est la lutte contre le réchauffement climatique. Les conséquences de ce dernier se font déjà sentir. Ainsi, trouver des alternatives plus écoresponsables pour diminuer l'utilisation d'énergies fossiles et accélérer la transition écologique est alors impératifs. En effet, ces énergies sont les sources premières des émissions de gaz à effet de serre et leurs réserves ne sont pas inépuisables.

Les énergies renouvelables occupent une place de plus en plus importante dans le mix énergétique au niveau mondial et en France, offrant des alternatives durables et respectueuses de l'environnement. À l'échelle mondiale, les énergies renouvelables connaissent une croissance importante, avec une part de 29 % en 2021 dans la production mondiale d'électricité. Le développement des énergies renouvelables est également en amélioration en France, avec des objectifs ambitieux, atteindre 32% d'énergies renouvelables d'ici 2030, afin réduire la dépendance aux énergies fossiles et faciliter la transition écologique.

De nombreuses sources renouvelables contribuent à cette part dans le mix énergétique, notamment l'énergie solaire, éolienne, la biomasse, les énergies marines et l'énergie hydraulique. Celles-ci sont inépuisables et peu polluantes.

Notre projet P6 exploite une de ces énergies : l'hydraulique, la production d'électricité grâce aux courants marins. Notre thème sur les énergies marines renouvelables s'inscrit alors dans la dynamique actuelle de production d'énergies plus vertes. La conception d'un banc hydraulique miniature est un projet en cours de réalisation depuis 3 ans maintenant. Nous nous sommes alors inspiré des travaux précédents en analysant les potentiels ajustements et améliorations que nous pouvions apporter afin de concrétiser ce projet et de réussir à construire le banc hydraulique.

La présentation des différentes énergies marines renouvelables fera l'office d'une première partie. Par la suite, nous nous concentrerons sur la conception du banc, sur les différentes pièces ainsi que sur notre travail de recherche. Enfin, nous aborderons les difficultés auxquelles nous étions confrontés au cours de notre projet ainsi que les axes d'améliorations pour les années prochaines.

2. ORGANISATION ET METHODOLOGIE

Avant la première séance de projet nous avons lu les rapports des années précédentes afin de prendre connaissance des points clés que nous aurons à aborder pour commencer le projet.

Durant la première séance de projet nous avons pris la décision de continuer celui-ci, commencé il y a quelques années, et de ne pas redémarrer à zéro afin d'avoir un projet beaucoup plus expérimental. Par la suite, nous avons défini les objectifs que nous voulions atteindre pour ce projet. Pour ce faire, nous avons utilisé le diagramme de Gantt qui nous a permis d'établir les tâches et sous-tâches nécessaires au projet en fonction de leur importance et difficulté tout en indiquant leur échéance. Nous

avons ainsi utilisé des couleurs en fonction de chaque catégorie et un système de pourcentage pour évaluer l'avancement.

Nous avons ensuite créé un Drive dans lequel nous avons pu mettre toutes les recherches effectuées, le diagramme de Gantt ainsi que les fichiers SolidWorks relatifs au banc que nous avons récupéré des groupes des années précédentes et ceux que nous avons conçu.

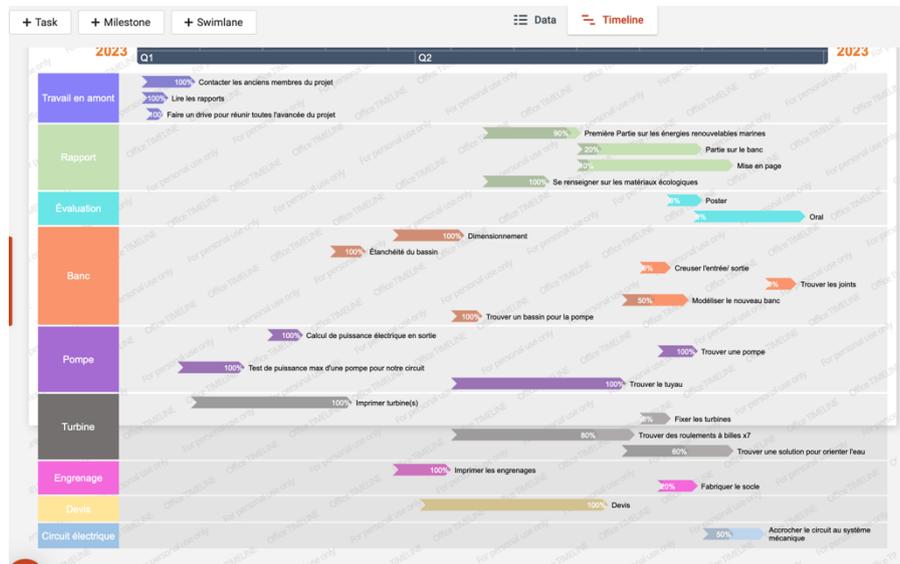


Figure 1 : Diagramme de Gantt

Ce drive nous a permis de tout mettre en commun tout au long du projet et de préparer des Google Slides au début de chaque séance afin de montrer l'avancement de notre projet à notre enseignant référent. Parallèlement aux séances dédiées à ce projet, nous avons effectué des visioconférences, notamment lorsque nous n'avions pas de séance de projet dans la semaine, afin d'avancer en groupe sur celui-ci.

Durant les séances de projet, après avoir discuté avec le professeur sur des aspects techniques, nous travaillions tous ensemble pour avancer sur le projet et nous nous accordions sur les objectifs à atteindre pour la semaine suivante. Pendant que certains membres du groupe s'occupaient de la construction du banc, d'autres s'occupaient du rapport.

3. LES ÉNERGIES MARINES

Le développement des énergies renouvelables est essentiel aujourd'hui. Dans le cadre de notre projet, nous nous sommes sensibilisés au développement et l'utilisation des énergies marines. Nous allons alors expliquer le fonctionnement des principales énergies marines : l'éolien, l'énergie thermique, houlomotrice, marémotrice et l'hydrolien.

3.1. Différents types d'énergies

3.1.1. L'énergie éolienne en mer

L'énergie éolienne en mer (ou *offshore*, littéralement "hors côtes" en anglais) fonctionne sur le même principe que l'éolien terrestre (ou *onshore*). Le vent fait tourner les pâles d'une éolienne, qui

entraînent à leur tour un générateur. Ce dernier transforme ainsi l'énergie mécanique du vent en énergie électrique, qui est transmise au continent via un réseau de câbles parcourant le fond marin.

La principale différence que l'on peut observer entre une éolienne terrestre et une éolienne marine repose sur la nature de leur fondation. En effet, cela leur permet dans le premier cas d'être fixée dans le sol et dans le deuxième cas d'être ancrée au fond de la mer. De plus, de nombreux projets voient le jour afin de construire des éoliennes flottantes (ou *farshore*, c'est-à-dire des éoliennes installées en haute mer), qui seraient accrochées à des flotteurs, eux-mêmes reliés au fond de la mer. En effet, l'un des inconvénients majeurs des éoliennes dont le mât est fixé au fond, est la profondeur. Elles ne peuvent être installées que sur des sites spécifiques dont la profondeur ne dépasse pas 60 mètres. A l'inverse, les éoliennes flottantes ne seraient plus soumises à cette contrainte et cela permettrait donc de les placer loin de côtes afin qu'elles puissent capter les vents plus puissants du large. Toutefois, leur coût étant beaucoup plus élevé, cette technologie est encore en développement.

Les éoliennes offshore sont plus difficiles à fabriquer que les éoliennes onshore car leur construction nécessite des déplacements de main-d'œuvre et de matériaux coûteux. Le raccordement à la terre est complexe et les éoliennes doivent être suffisamment résistantes pour supporter la corrosion, ainsi que les courants et les conditions météorologiques marines. Toutefois, la mer étant plane, les vents marins ont l'avantage d'être plus forts et plus réguliers que sur terre car ils rencontrent moins d'obstacles, ce qui permet à ces éoliennes d'être rentables. De plus, la vitesse des vents étant plus grande en altitude, les éoliennes en mer sont très hautes, et possèdent des pâles plus larges que les éoliennes terrestres afin de brasser plus de vent. Cela implique que les parcs éoliens marins peuvent produire jusqu'à 60% d'énergie supplémentaire par rapport aux parcs terrestres.

Du fait des enjeux écologiques et environnementaux, l'éolien est en plein développement. Actuellement, la production d'énergie par les éoliennes marines s'élève à 50 TWh en Europe mais les infrastructures marines n'étant pas contraintes par la superficie disponible comme sur terre, l'Union Européenne souhaite multiplier sa production par 5 d'ici à 2030, et par 10 d'ici à 2050.

3.1.2. Thermique

L'énergie thermique des mers consiste à utiliser la différence de température entre l'eau de surface et l'eau profonde. Le principal avantage est que les mers et les océans représentent 70% de la surface terrestre donc cette énergie est abondante, prévisible et disponible 24h/24h. L'implantation de centrales thermiques est cependant limitée aux zones intertropicales possédant un gradient thermique de minimum 20°C entre les eaux profondes et les eaux de surface avec des fonds atteignant 1000m. S'il existe toutefois un faible écart de température, il faudrait augmenter le courant en pompant afin d'augmenter cet écart.

Les océans occupent une surface qui leur permet de capter le rayonnement solaire de deux manières différentes : une première en absorbant directement le flux solaire et une deuxième en utilisant le rayonnement de la Terre réfléchi par l'atmosphère. Le réchauffement de l'eau en surface est expliqué par cette énergie provenant de la Terre, qui réchauffe les couches supérieures de l'océans. Le fait que les couches froides ne se mélangent pas aux couches chaudes s'explique grâce à la différence de densité volumique de l'eau chaude et de l'eau froide.

L'énergie électrique est produite à partir d'un fluide qui se convertit en vapeur au contact avec l'eau chaude de surface. Ensuite, la vapeur produite passe dans une turbine suivie d'un alternateur qui

produit de l'électricité. Ainsi, la vapeur est aspirée vers un condenseur où elle retourne à l'état liquide au contact de l'eau froide en profondeur.

Les centrales thermiques marines rejettent très peu de polluants dans l'océan et émettent 100 fois moins de dioxyde de carbone qu'une centrale électrique thermique. D'autre part, une centrale ETM rejette les eaux de pompages en profondeur, ce qui crée une remontée d'eau en surface participant à l'accroissement de la production biologique.

Finalement, l'énergie thermique marine peut permettre de renforcer l'indépendance énergétique des pays disposant d'espaces maritimes intertropicaux. Cette nouveauté énergétique motive notamment l'Australie et le Japon, la France et les Etats-Unis.

3.1.3. Houlomotrice

De nombreuses sources naturelles peuvent être utilisées comme vecteur d'énergie électrique, comme vu précédemment. Intéressons-nous alors aux mouvements de la houle et des vagues. Ces mouvements sont plus ou moins importants en fonction du vent et de l'orientation mais ce phénomène reste permanent et peut être propagé sur de longues distances. L'énergie houlomotrice est alors intéressante à étudier et peut être exploitée sur de grandes surfaces maritimes.

Actuellement, la production annuelle mondiale d'énergie houlomotrice est estimée entre 2000 et 8000 TWh dont 150 TWh pour l'Europe. En France, cette énergie représente 40 TWh/an, l'équivalent de 5 réacteurs nucléaires.



Figure 2 : Carte du potentiel houlomoteur indiquant la puissance moyenne en kW / mètre linéaire de front de vague

De nombreux systèmes existent afin d'exploiter cette énergie : flottants - qui utilisent le mouvement de surface, c'est-à-dire les ondulations - ou immergés - qui utilisent le mouvement sous-marin, c'est-à-dire les mouvements orbitaux.

Le système le plus répandu est la "chaîne flottante articulée" : une série de flotteurs reliés et fixés au fond de l'eau. Ces flotteurs s'alignent perpendiculairement aux vagues dans le sens du vent ce qui crée une oscillation. Ce mouvement est exploité au niveau des articulations par des vérins hydrauliques afin de comprimer un fluide hydraulique pour entraîner une turbine (structure Pelamis).

Pour conclure sur cette énergie, les systèmes actuels sont soit en étude, soit en essai, mais peu, voire aucun, n'est utilisé comme réel source d'énergie. L'utilisation de cette énergie reste encore un défi technique. En effet, la fiabilité, la résistance aux conditions extrêmes - telle qu'une tempête - le raccordement électrique pour les installations au large, l'ancrage ainsi que l'installation même de ces systèmes sont encore des points en développement et en étude pour les chercheurs. De plus, comme tout système maritime, la recherche de matériaux résistants évitant une possible corrosion est indispensable pour le bon fonctionnement de ces machines. Le dernier point qui reste un défi actuellement est le fouling : des animaux et végétaux peuvent se déposer sur les machines immergées et donc dégrader celle-ci. Cependant toute solution doit être respectueuse de l'environnement et de la biodiversité avec de plus en plus l'utilisation de matériaux biosourcés.

3.1.4. Marémotrice

L'énergie marémotrice est une forme d'énergie renouvelable qui utilise la force des marées pour produire de l'électricité. Ces dernières sont causées par les mouvements de la lune et du soleil, qui créent des variations régulières du niveau de l'eau dans les océans. Contrairement aux hydroliennes qui captent l'énergie cinétique des courants des marées, le principe d'une centrale marémotrice se fonde sur l'énergie potentielle c'est-à-dire la variation de hauteur de l'eau pour faire tourner les turbines. L'énergie marémotrice possède l'avantage d'être fiable contrairement aux sources d'énergie solaire et éolienne puisque les marées sont prévisibles et régulières.

Il existe deux types de technologies pour produire de l'énergie marémotrice : les barrages marémoteurs et les turbines sous-marines.

- Les barrages marémoteurs sont des structures construites à travers l'embouchure d'une baie ou d'un estuaire, qui capturent l'énergie de la marée lorsqu'elle monte et descend.
- Les turbines sous-marines, quant à elles, sont placées sur le fond marin et utilisent les courants de marée pour faire tourner des turbines.

Les usines marémotrices sont situées sur les bras de mer ou les estuaires en zone de fort marnage (différence de hauteur d'eau entre la marée haute et basse) idéalement entre 10 et 15 mètres. Il existe 2 grands types d'infrastructures marémotrices : le simple bassin et le double bassin.

➤ Le simple bassin

Il consiste à bloquer un bras de mer par un barrage capable de retenir un volume d'eau important et de capturer l'énergie de la marée lorsqu'elle monte et descend. L'eau stockée dans le bassin à marée haute est relâchée à marée basse et traverse les turbines pour produire de l'électricité.

➤ Le double bassin

Cette technique consiste à rajouter un bassin artificiel, situé plus bas que le niveau de la mer même à marée basse. Ce bassin supplémentaire permet l'exploitation d'une différence de potentiel, quelle que soit la hauteur d'eau de la mer. Ce dispositif permet de produire de l'énergie sur de plus longues périodes mais nécessite une infrastructure plus complexe et plus coûteuse.

Bien que l'utilisation de cette énergie reste encore limitée dans le monde, dû à une perturbation de l'écosystème durant la construction de la centrale, plusieurs pays ont commencé à exploiter cette source d'énergie renouvelable :

- La France utilise le plus cette énergie, grâce à l'usine marémotrice de la Rance située en Bretagne. Cette usine est en activité depuis 1996, produisant environ 500 GWh par an.
- Le Canada possède la deuxième plus grande usine marémotrice au monde dans la baie de Fundy en Nouvelle-Écosse, produisant environ 20 MW d'électricité.
- La Chine a installé plusieurs projets pilotes ces dernières années et a notamment inauguré une usine de 3,2MW à Zhejiang en 2020.
- Le Royaume-Uni en possède une dans la baie de Swansea avec une capacité de production de 320MW.
- Enfin la Corée du Sud a inauguré la plus grande usine au monde dans la baie de Sihwa produisant 552,7GWh.

Notons donc que cette énergie reste limitée en raison de son coût élevé et des défis dû à la construction des installations. Elle ne cesse cependant de se développer dans de nombreux pays ce qui fera d'elle une source d'énergie de plus en plus importante à l'avenir.

3.1.5. Hydrolienne

L'énergie hydrolienne est similaire à l'énergie éolienne sur de nombreux aspects. Toutes deux reposent sur l'utilisation de la puissance motrice d'un fluide en circulation pour entraîner une turbine. Dans le cas de l'énergie éolienne, le fluide est l'air tandis que pour l'hydrolienne il s'agit de l'eau. Les différences entre ces deux énergies résident uniquement sur les différentes propriétés physicochimiques de ces fluides (masse volumique, composition chimique plus ou moins à même de créer de la corrosion sur les machines...).

Ces deux énergies furent d'abord utilisées pour moudre le blé, par l'utilisation des moulins traditionnels et moulins à eau. Les moulins furent inventés après les moulins à eau, bien que plus présents dans l'imaginaire collectif, étant donné la présence croissante d'éoliennes en France et de l'utilisation discrète de l'énergie hydrolienne dans le contexte de création d'électricité. Ce dernier fait n'est pas étonnant : la puissance des cours d'eau, comme les rivières, n'est pas assez importante pour pouvoir générer massivement de l'énergie.

Cependant, les cours d'eau ne sont pas les seuls lieux à potentiel hydrolien : les courants marins, comme le Goldstream, ont un fort potentiel et sont très puissants. Ils ont comme premier avantage d'être à débit constant, donc prévisibles, contrairement aux vents faisant tourner les éoliennes. En plus de cela, l'eau a une masse volumique 800 fois plus élevée que l'air, donc une puissance cinétique plus élevée.

Il existe deux types d'hydroliennes permettant d'exploiter l'énergie des courants des océans : les hydroliennes sous-marines et celles à flots. Les premières sont installées dans les fonds marins où la profondeur est peu importante, tandis que les secondes, équipées de flotteurs, captent l'énergie des courants en surface, en eaux profondes. Le courant produit est ensuite acheminé sur le continent via un réseau de câbles électriques parcourant les fonds marins.

Le développement de l'énergie hydrolienne par les courants marins est donc intéressant, particulièrement en France, qui compte un bon nombre de côtes longeant l'océan Atlantique ou la Manche. La France dispose d'une ferme hydrolienne en Bretagne, celle de Paimpol-Bréhat, qui grâce à ses deux hydroliennes produit 1 MW d'énergie, ce qui permet d'alimenter environ 650 foyers moyens. Trois autres zones en France disposent de forts courants marins : dans le Cotentin, il y a les

raz Blanchard et de Barfleur, et en Bretagne, le passage de Fromveur. EDF a estimé que l'exploitation de l'énergie hydrolienne, principalement dans ces trois zones permettrait de générer 2,5 GW d'énergie, soit alimenter plus d'un million de foyers (on comptait environ 30 millions de foyers en 2019 en France).

Bien que le potentiel de ces fermes énergétiques soit important, leur installation perturberait les écosystèmes marins, bien souvent protégés. En effet, les animaux marins risquent de rester bloqués dans les pales des hydroliennes mais il existe pour cela des hydroliennes qui ne tournent pas, mais qui oscillent comme les *StreamWings*. Les écosystèmes peuvent aussi être perturbés par les turbulences engendrées par la rotation des pales. Les hydroliennes nécessitent enfin une peinture anti-algues appelée fouling, nocive pour la faune et la flore. De plus, l'énergie hydrolienne en France a l'avantage de pouvoir être produite en continue, de manière infinie et en quantité équivalente à au moins 2 réacteurs nucléaires lorsque la France en dispose de 56 représentant 70% de la production d'électricité du pays.

Finalement, lorsque l'on sait que des projets d'extractions de pétrole risquent d'engendrer la destruction de bancs de coraux ou de marées noires, on peut trouver la perturbation de ces écosystèmes négligeable à côté de la production d'une grande quantité d'énergie verte.

3.2. Le Potentiel Théorique

Le potentiel théorique des énergies marines renouvelables (EMR) serait de 2 millions de TWh par an. Cependant d'après l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) seulement 100 000 TWh/an seraient technologiquement et économiquement exploitable. Ce chiffre reste énorme quand on sait que la consommation d'électricité mondiale s'élevait à 27 000 TWh en 2021. Néanmoins, les EMR représentent à peine 0,3% de la production d'énergie mondiale.

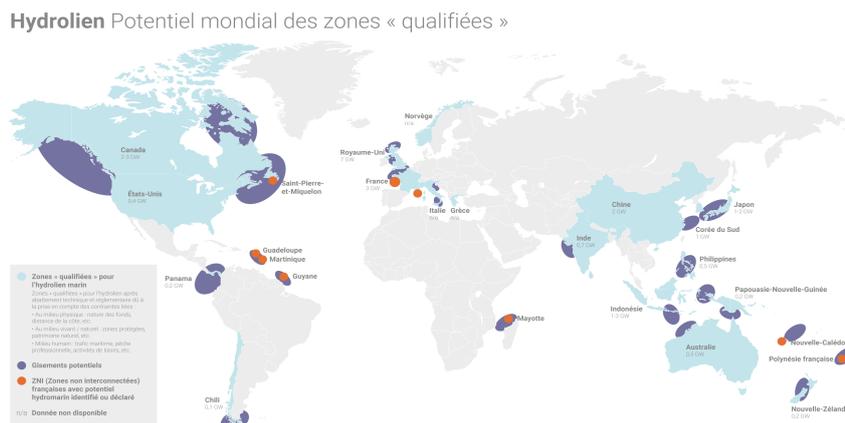


Figure 3 : Carte du potentiel hydrolien mondial

Concernant l'énergie hydrolienne, le potentiel mondial serait chiffré à environ 450 TWh/an. A la différence de sources d'énergies, comme l'éolien offshore, ce potentiel est fixe : en effet les courants marins ne sont pas parfaitement prévisibles, ils sont connus, cartographiés et circulent toute l'année. De plus, les veines de courants intenses apparaissent dans des zones de faibles profondeurs (entre 20m et 100m) à proximité des côtes, ce qui en facilite grandement l'exploitation. Par ailleurs

cette proximité de ces exploitations avec les côtes indique que celles-ci sont situées dans les Zones Economiques Exclusives (ZEE) des Etats et permet d'éviter tous risques de conflits d'intérêt interétatique concernant leur exploitation. Comme nous pouvons l'observer sur la carte, ces potentiels sont répartis principalement proches des littoraux Nord-Américain, de la Mer du Nord et de la partie de l'Océan Pacifique située entre le littoral Chinois et Australien.

En Europe, le Royaume-Uni est le pays avec le plus fort potentiel hydrolien avec une production estimée à 34 TWh/an , ce qui représente 11,5 % de la consommation annuelle du pays.

La France est le deuxième pays européen avec le plus fort potentiel hydrolien. Estimé à environ 14 TWh/an, soit 3% de la consommation annuelle en France, ce potentiel est majoritairement concentré vers les côtes de Bretagne, de Normandie et des Pays de la Loire. De plus, avec la deuxième ZEE la plus vaste au monde, d'une superficie d'environ 10,2 millions de km², la France possède de nombreuses autres zones à haut potentiel hydrolien dans les territoires d'outre-mer, notamment vers Saint-Pierre-et-Miquelon, les Antilles, Mayotte et les territoires de Polynésie Française.

3.3. Les enjeux environnementaux

3.3.1. Les impacts environnementaux

Bruits et vibrations

a. Impacts liés à la construction

La phase de construction des installations des EMR génère inévitablement du bruit lors de la préparation du fond marin, de l'installation des fondations et du trafic des navires. Les perturbations produites dépendent essentiellement du type de fondation et de la technique d'installation, mais aussi de la topographie et la composition du fond marin, du diamètre des pieux, du bruit ambiant déjà existant et des espèces marines présentes.

Généralement, les impacts du bruit sont temporaires, mais ont des répercussions néfastes plus durables. Ils peuvent causer le décès ou la blessure de certaines espèces marines telles que les poissons, les mammifères et les tortues de mer. Ces bruits peuvent également provoquer des perturbations comportementales chez ces espèces, comme la délocalisation, qui affecte gravement la fréquentation de certaines surfaces sous-marines : les espèces sont poussées à abandonner ou désertir momentanément une zone qui peut s'étendre jusqu'à des dizaines de kilomètres du site de construction.

Les impacts sonores lors de la construction de dispositifs flottants sont plus modérés que pour les dispositifs fixes, quel que soit le domaine (éolien, hydrolien, houlomoteur, ETM).

Par ailleurs, les flux de transport sont décuplés lors des phases de construction. En effet, les structures des dispositifs éoliens, hydroliens et houlomoteurs sont transportées par voie navale, du port où elles sont stockées jusqu'au site d'installation. D'autres embarcations sont également nécessaires à la préparation de la zone et à l'installation des structures. Tous ces navires constituent également une source de bruit et de dérangement pour les espèces environnantes, qui s'ajoute au trafic naval déjà existant.

b. Impacts liés à l'exploitation

D'un point de vue général, les impacts liés aux infrastructures des EMR sont nettement moins conséquents lors de la phase d'exploitation que lors de la phase de construction.

Lors de la phase d'exploitation, le bruit et les vibrations (liés à la rotation des pales et des turbines) se propagent dans l'eau, mais l'intensité du bruit est plus faible que celle du bruit causé par l'agitation naturelle à la surface ou d'autres activités maritimes.

De plus, l'intensité sonore marine et aérienne ne semble pas provoquer de blessures chez les différents organismes, et ne paraît pas affecter le comportement des mammifères marins et des poissons. Ces études restent à approfondir car les seuils de sensibilité de certaines espèces, plus sensibles aux bruits et vibrations, sont encore inconnus. Les espèces telles que les chiroptères seraient principalement affectées par les variations brutales de pression au voisinage des pales.

De plus, les infrastructures sont généralement placées dans des zones à fort courant où le bruit hydrodynamique est intense, l'impact des hydroliennes paraît donc négligeable.

Le bruit mécanique généré dans les dispositifs houlomoteurs n'est pas plus important que le bruit hydrodynamique naturel, qui augmente fortement en présence de vagues.

Cependant, les parties mobiles du dispositif peuvent produire des bruits dans une gamme de fréquence différente des bruits naturels, dont leur intensité peut augmenter avec l'usure du système ou le fouling.

Modification de l'habitat

a. Impacts liés à la construction

La préparation du fond lié à l'installation des structures entraîne la modification, perturbant l'ensemble des organismes vivants sur les fonds des mers. Les différentes étapes telles que le forage, le dragage, l'extravasation des fonds, la création des tranchées réalisées pour l'enfouissement des câbles électriques, détruisent localement le benthos (l'ensemble des organismes qui vivent dans les fonds aquatiques). De même que pour les vibrations, l'impact sera plus modéré pour les structures flottantes que pour les structures ancrées.

Cette destruction peut cependant être suivie d'une recolonisation, en particulier sur des fonds meubles à résilience élevée. Ce ne peut être que le cas où la substrat meuble n'a pas été remplacé par des structures artificielles. Dans le cas contraire, ces surfaces seront colonisées par des espèces aboutissant à un écosystème très différent de l'état originel.

Les opérations de dragage bruyantes causent la mise en suspension temporaire des matériaux, ce qui empêche la pénétration de la lumière dans la masse d'eau, et entraîne donc une baisse de la photosynthèse. De plus, le dépôt des matériaux sur le fond peut recouvrir les organismes qui y vivent, et de ce fait perturber les habitats. Les sédiments mis en suspension peuvent contenir divers polluants toxiques (métaux lourds, dérivés d'hydrocarbures, pesticides, etc.), lesquels risquent de se disperser dans l'eau et de contaminer les organismes vivants.

b. Impacts liés à l'exploitation

L'emprise au sol de la structure entraîne la dégradation des fonds, allant d'une destruction des milieux concernés à un déplacement éventuel des espèces les plus mobiles.

Le fonctionnement des hydroliennes induit une modification de l'hydrodynamisme en aval des structures, par l'effet de sillage, et suscite entre autres la perturbation des régimes hydro-sédimentaires. Cette diminution de la vitesse des courants favorise la sédimentation des particules transportées par les courants, ce qui peut modifier localement les habitats benthiques concernés, et implique un risque de recouvrement des habitats présents autour des fondations.

Les composants chimiques utilisés pour empêcher la colonisation des machines par des organismes marins, ou la corrosion, ont une toxicité élevée, et leur introduction peut se révéler néfaste pour la faune environnante. Les peintures antifouling, limitant le développement des organismes marins sur les structures, sont hautement toxiques pour ces derniers. Les lubrifiants chimiques ont également des risques de pollution élevés, et nécessitent d'être récupérés et détruits par des établissements spécialisés dans le traitement de matières hautement polluantes pour qu'ils n'affectent pas la biodiversité lors de leur dégradation. Les dispositifs anti-corrosion, quant à eux, diffusent des oxydes provenant des anodes métalliques (cuivre, zinc, aluminium, ...). Il est possible que l'accumulation de ces substances dans les sédiments et dans l'eau peuvent avoir des conséquences sur les animaux marins.

Les champs électromagnétiques, générés par des câbles et installés dans le sous-sol ou posés sur le fond ou en pleine eau, présentent des risques encore mal connus. On sait en revanche que de nombreux groupes d'animaux sont sensibles à d'infimes variations des champs magnétiques ou électriques, et pourraient alors être affectés.

c. Effet barrière et risques de collision

La simple présence de structures EMR constitue une barrière au passage de diverses espèces, avec un risque de collision important. L'effet « barrière » s'applique aux migrations, mais aussi aux déplacements quotidiens.

Concernant les impacts des perturbations causées par des parcs d'éoliennes, les parcs situés sur un point de passage lors des migrations augmentent le risque de collision lors de la migration. Dans le cas de vols quotidiens, les parcs d'éoliennes peuvent causer la fragmentation d'unités écologiques pour ces oiseaux. Le risque de collision des mammifères marins est peu important pour les structures fixes, car ils ont la capacité de détecter et d'éviter les installations par écholocalisation. Toutefois, les impacts électromagnétiques des câbles sont plus perturbants car les mammifères marins se servent du champ magnétique terrestre pour s'orienter et migrer.

Les structures en mouvement, telles que les hydroliennes, sont d'autant plus dangereuses car leur pâles sont en mouvement, et toutes les espèces n'ont pas la capacité de les éviter. Ce risque dépend de nombreux facteurs concernant l'hydrolienne (sa structure, son diamètre, son nombre), l'espèce considérée (sa taille, sa capacité à se déplacer et à identifier l'obstacle), et des conditions du milieu (la vitesse des courants, la visibilité).

La mise en place d'obstacles sur les cours d'eau constitue une barrière à la circulation de diverses espèces, susceptible d'affecter gravement leur taux de survie ou leur succès de reproduction.

Conclusion

Malgré les politiques d'atténuation qui visent à minimiser les impacts des aménagements, les diverses activités maritimes ont un fort impact sur les organismes marins. La force de ces impacts dépend essentiellement de la fragilité de la zone et des espèces présentes, et peut engendrer la modification des habitats naturels voire la perte totale d'habitat.

Des compléments d'études doivent encore être réalisés afin d'en savoir plus sur le seuil de tolérance de chaque espèce, ainsi que sur leur comportement face à ces perturbations, ce qui serait favorable au développement de mesures pouvant pallier ou compenser ces effets résiduels, dans le but d'éviter une perte nette de biodiversité.

3.3.2. Matériaux plus écologiques

➤ Encre 3D béton

L'école centrale de Marseille est à l'initiative de ce matériau : l'encre 3D béton grâce à la technologie d'impression 3D d'XtreeE. Le but de leur projet était de réaliser un bassin à houle plus performant, plus éco-responsable tout en optimisant les coûts et le bilan carbone.

Ce projet ressemble, à plus grande échelle, à notre projet P6 et nous pouvons imaginer que plus tard notre bassin hydraulique puisse être construit grâce à cette technologie. Le béton 3D permet d'augmenter la performance écologique car tout ce qui est imprimé est utilisé donc il y a très peu de perte de matière.

Concrètement, les coques du bassin sont imprimées par accumulation de couches successives. Cette accumulation sous forme de feuilleté permet d'imiter les roches présentes appropriées à la faune et la flore marine : le bassin est alors biomimétique.

➤ Béton-coquillage

Le béton-coquillage, développé par l'école ESTIC de Caen, pourrait permettre de remplacer une partie des granulats par des coquillages. Ce matériau est plus éco-responsable et permet de protéger le littoral. En effet, la production de coquillages provoque la prolifération des crépidules (une espèce invasive s'attaquant aux coquillages traditionnels). Cependant, leur coquille permettrait de créer le béton coquillage car elle est très résistante et possède une forme intéressante. Ce matériau permet ainsi de protéger les fonds marins et de proposer une alternative au niveau de la gestion des déchets.

Le procédé de fabrication est assez simple : les coquilles sont vidées, concassées et incorporées au béton. Cela permettrait de remplacer jusqu'à 50% des granulés. Ce béton permet aussi de réduire les dépenses énergétiques car l'extraction du granulat pour la fabrication du béton est très lourde en énergie.

Une propriété intéressante de ce matériau est son côté absorbant : 2 litres par m² et par seconde, soit 120 litres par minute. Cette propriété pourrait réduire les effets négatifs de la

bétonisation : l'excès d'eaux pluviales ou d'eaux usées déversées dans les stations d'épuration ou les rivières ou encore la perturbation du cycle de l'eau qui nuit au remplissage de la nappe phréatique.

Dans les années à venir, ce matériau pourrait permettre la création de récifs artificiels avec des formes plus complexes pouvant accueillir la faune et la flore marine. Cependant, actuellement le prix de ce béton est légèrement plus cher que le béton classique, mais il peut permettre d'empêcher des inondations potentielles et offre une sécurité face au débordement des eaux.

4. CONSTRUCTION DU BANC

4.1. Réflexion sur les rapports précédents

Nous avons débuté notre projet lors de la première séance par la présentation du sujet de la part de notre professeur. Lors de cette séance il nous a proposé deux options dans le cadre de la réalisation de notre projet. Nous avons eu le choix entre reprendre et continuer le projet de l'année précédente, ou d'entamer un nouveau sujet radicalement différent. Concernant le nouveau sujet, soit nous pouvions réaliser la conception d'un banc totalement distinct des années précédentes, en cas de désaccords majeurs avec les projets antérieurs, soit nous pencher sur l'étude d'une énergie différente de l'énergie hydrolienne, à savoir l'énergie marémotrice, et proposer un système permettant de récupérer cette énergie et de la transformer en électricité.

Après concertation, nous avons opté pour la première option, celle de poursuivre le projet du banc hydraulique, et ce pour plusieurs raisons. Dans le futur, nous serons amenés, en entreprise, à poursuivre des projets déjà entamés et donc cette option nous permettrait d'apprendre à la fois à poursuivre un projet en s'inspirant de bases déjà existantes, à nous adapter aux ressources déjà présentes, tout en incorporant des idées nouvelles afin de pérenniser la réalisation du projet. Par ailleurs, nous avons choisi ce projet par rapport au thème, mais aussi au fait qu'il proposait une partie expérimentale. C'est cette volonté d'avoir un aspect pratique et non seulement bibliographique qui nous a conforté dans ce choix. En effet, l'option de recommencer un projet de zéro ne nous l'aurait pas permis, notamment du fait des longues phases d'études et de conception qu'elle aurait nécessité.

D'emblée la première tâche que nous avons réalisée a été de lire les rapports des années précédentes afin de voir les points centraux mais aussi les bornes du sujet. Nous avons rassemblé les différentes avancées réalisées au cours des divers projets mais aussi les pistes abandonnées ou encore les axes d'améliorations proposés. Les rapports des 3 dernières années traitaient de la réalisation du banc hydraulique. Ceux des deux premières années contenaient beaucoup plus de recherches bibliographiques, notamment sur les composants et le fonctionnement du banc. Le groupe de l'an dernier s'était fortement inspiré de ces recherches pour commencer la conception de leur banc. Nous nous sommes donc penchés plus fortement sur le dernier rapport qui était plus synthétique et plus orienté sur la partie conception. Cependant nous avons tout de même étudié les rapports antérieurs afin de comprendre le fonctionnement et l'utilité des différents composants du banc.

4.1.1. Bilan des avancées des années précédentes

Le projet a beaucoup évolué en trois ans, mais les composants principaux du banc hydraulique, modifiés par rapport à la première année, ont généralement été maintenu : une pompe d'environ 5000L/h, un bassin de forme circulaire, des turbines placées à intervalle régulier dans le

bassin, surmontées de roues dentées permettant de faire fonctionner une petite dynamo afin d'allumer une LED.

En effet, le premier groupe, en 2020, avait plutôt imaginé un bassin rectangulaire, comme représenté sur l'image ci-contre, avec une turbine horizontale et un système de récupération de l'énergie mécanique produite composé de poulies et de courroies.

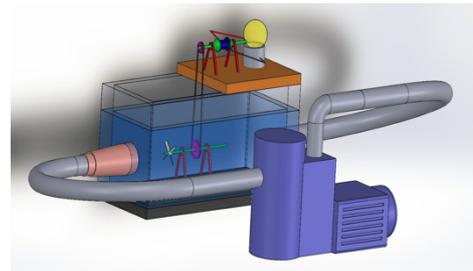


Figure 4 : Banc de 2020

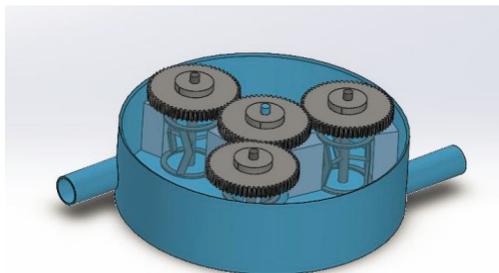


Figure 5 : Amélioration du banc de 2020

Par la suite, comme évoqué précédemment, le bassin s'est présenté comme sur l'image à gauche. Il contenait trois turbines permettant de faire tourner un train d'engrenages et ainsi de centraliser l'énergie hydraulique en une seule roue dentée, ne tournant que par la rotation des trois autres. Des carénages ont ici été modélisés afin de contrôler le flux de l'eau mais ils ont ensuite été abandonnés par manque de moyens.

La dernière modélisation, celle de l'année dernière et affichée ci-contre, a été très peu modifiée par rapport à la précédente. Toutefois, nous pouvons remarquer un changement de la forme des turbines, qui a été revue afin d'être imprimée plus facilement en 3D. Une petite cloison a été ajoutée pour pouvoir mieux diriger l'eau et les trous d'entrée-sortie de l'eau ont été placés d'un même côté. Le groupe de 2022 a cherché à construire le banc concrètement et donc à rassembler les pièces plus qu'à améliorer le modèle 3D précédent.

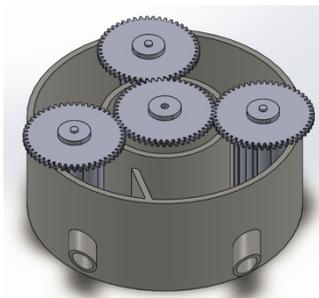


Figure 6 : Banc de 2022

4.1.2. Notre choix

Après nous être renseignés sur le projet grâce aux nombreux rapports, nous avons fait un bilan, pendant la première séance, de ce qui avait déjà été construit physiquement et de ce qu'il restait encore à faire. Le groupe précédent a réussi à construire un bassin de la taille souhaitée et étanche, ce qui est en elle-même une grande avancée, étant donné qu'il s'agit d'une des pièces centrales du banc hydraulique. De plus, ils ont commencé à rassembler des pièces essentielles, que nous développerons par la suite.

4.2. La conception de notre projet

4.2.1. Pièces récupérées des années précédentes

Une fois l'étape d'étude des rapports des années précédentes, nous avons listé l'ensemble des pièces déjà à notre disposition. Le groupe de l'année dernière avait rassemblé déjà une partie des composants nécessaires à la fabrication du banc. Comme expliqué précédemment, ils avaient réussi à faire construire un bassin circulaire faisant office de contenant pour l'eau du banc. Après des essais

nous nous sommes assurés de la solidité et de l'étanchéité du bassin. Nous avons aussi à disposition une turbine, un support de turbine ainsi qu'un axe de rotation pour celle-ci, les 3 imprimés à l'imprimante 3D. Nous avons aussi pu récupérer les modèles Solidworks des différentes pièces nécessaires pour les fabriquer au moyen d'impressions 3D. Nous avons aussi pu récupérer des roulements à billes pour faire tourner les turbines ainsi qu'un lot de petits anneaux élastiques pour fixer ces roulements sur les turbines. Enfin le dernier élément à disposition était une petite dynamo, permettant de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique pour allumer la lampe.

4.2.2. Pièces ajoutées

Après avoir lu les différents rapports, nous avons pensé à la modélisation de 3 bancs :

La première version de ce banc, consistait à placer les 3 turbines réparties à même distance les unes des autres dans le banc, en plaçant une roue dentée au-dessus de chaque turbine à l'aide de roulements à billes. De plus une roue dentée principale était située au centre du banc, engrenée par les 3 autres. Nous comptions ajouter sur ce banc un couvercle afin de fixer les turbines et donc d'obtenir un train d'engrenages plus stable.

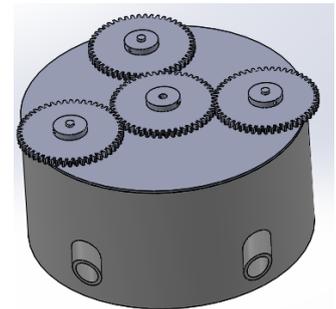


Figure 7 : Modélisation du banc avec le couvercle



Figure 8 : Réalisation du banc

La deuxième version de ce banc, que nous avons réalisée, repose sur l'ajout d'une paroi interne de polystyrène. En effet, nous nous sommes rendu compte que l'eau ne s'écoule pas correctement dans la version précédente. L'eau remplit l'intérieur du banc et s'écoule autour des deux côtés des turbines ce qui les empêche de tourner correctement et diminue considérablement le rendement. Nous allons alors remplir le banc de polystyrène en laissant un passage pour l'eau à gauche des turbines. Cela permettra d'orienter l'eau afin d'entraîner les turbines ainsi que le système mécanique. Cette installation est semblable au rôle des tuyères.

De plus, lors de l'impression 3D des turbines, l'une d'entre-elles n'était pas assez solide : la tige à l'intérieur oscillait. Afin de la consolider, nous voulions créer une bague en polystyrène pouvant se glisser autour de la tige. Cette consolidation est nécessaire car lors de l'ajout éventuel d'eau, la turbine se casserait à la suite d'une pression trop importante. Le polystyrène est une solution temporaire car cela peut se détériorer et les blocs sont difficiles à assembler et à coller ensemble.

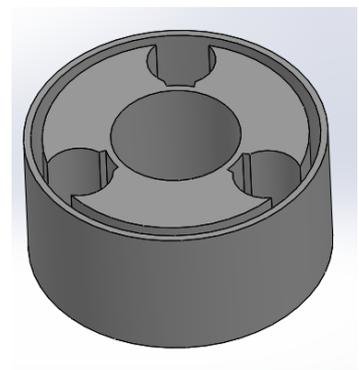


Figure 9 : Amélioration avec ajout d'une paroi

La troisième version de ce banc comporte un changement radical dans sa conception. En effet, la forme du banc a été totalement repensée, passant d'un banc de forme circulaire à un banc en forme de U. Cette modification a été effectuée afin de permettre un meilleur écoulement de l'eau. En effet, l'entrée d'eau s'effectue sur une des parties hautes du U et la sortie sur la deuxième partie haute. L'eau se trouve ainsi orientée à travers le U de l'entrée vers la sortie. La différence avec le banc précédent de forme circulaire est qu'il n'y a plus de nécessité de trouver un moyen de compartimenter le banc afin de séparer l'entrée d'eau et la sortie d'eau.

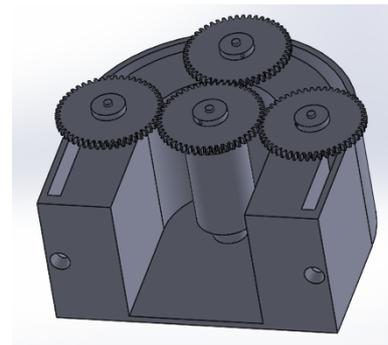


Figure 10 : Banc en U

4.2.3. Problèmes rencontrés

La réalisation de notre projet a été ponctuée d'obstacles de toutes sortes, concernant principalement la réalisation expérimentale du banc hydraulique.

Nous avons fait le choix, dès le début, de continuer ce qui avait été réalisé lors du projet de 2022, dans l'optique d'apporter des améliorations et de continuer son avancée. Effectivement nous avons envie d'aboutir à ce projet, et nous avons en tête que nous ne serions peut-être pas allés plus loin en recommençant le projet depuis les premières étapes de sa conception.

Nous avons ainsi récupéré, du projet précédent, un banc circulaire en PVC ainsi qu'une turbine réalisée par une imprimante 3D.

Après observation, nous avons eu quelques doutes sur l'étanchéité de la cuve. Nous avons donc réalisé un premier test en mettant de l'eau dans la partie inondable. Sans courant, aucune fuite n'a été détectée. Plus tard, nous avons relevé un défaut au sujet de la forme du banc. Après discussions, nous en sommes venus à la conclusion qu'une forme de bassin en U aurait été préférable, afin de pouvoir faire circuler l'eau, et car cela serait sans doute plus réaliste des courants marins.

Une première turbine avait déjà été réalisée par impression 3D. Elle nous a semblé très qualitative mais nous avons néanmoins remarqué que la tige centrale était très flexible, ce qui relevait une forme de fragilité à la base.

Nous avons ensuite eu à trouver le reste des pièces manquantes. Pour cela nous avons utilisé nos contacts de l'INSA et Cobra, qui nous ont orienté vers les personnes pouvant nous aider. La recherche de matériel au sein de l'INSA a été peu fructueuse. Nous avons donc eu à réaliser des devis afin de pouvoir acheter les pièces nécessaires, tels que les roulements à billes. Le reste des pièces mobiles a été réalisé par impression 3D. Ainsi nous avons pu imprimer les roues dentées et les turbines manquantes. Certaines pièces ont dû être limées car l'assemblage ne pouvait pas être réalisé avec les pièces telles quelles. Nous avons donc légèrement limé le sommet des tiges des turbines, le centre des roues dentées et entre les crêtes des roues dentées. Les pièces du circuit extérieur au banc (pompe, tuyau, bassine) ont été trouvées par nos propres moyens.

Un autre obstacle conséquent a été le manque de temps. Nous avons perdu beaucoup de temps lors des premières séances dans la recherche du matériel (conversations par mail, recherches au

contact des personnes du département Mécanique, etc). Par la suite nous avons eu à attendre la validation des devis, puis la livraison des pièces. La date de rendu du projet est donc arrivée très vite une fois que nous avons eu toutes les pièces en notre possession. Ainsi les délais de réponse et de livraison ont été des étapes très chronophages.

De plus, nous avons eu à prendre en compte le budget restreint consacré à la réalisation de notre projet. Ainsi, avant d'envoyer un quelconque devis, nous avons eu à réfléchir aux différentes méthodes de réalisation possibles, les matériaux les moins chers, ce que nous pouvions possiblement trouver chez nous, etc.

Une fois les pièces regroupées, nous avons pu réfléchir plus en détails à la réalisation expérimentale du banc. C'est à ce moment que nous avons constaté que des erreurs de conception avaient été faites. Comme énoncé précédemment, la forme circulaire du banc. Puis, nous nous sommes aperçus que le mouvement des turbines allait être perturbé par l'arrivée d'eau à la fois du côté creux et bombé des pales. Ainsi leur mouvement n'allait pas être aussi fluide que désiré.

Pour finir, nous avons également remarqué que l'horaire du créneau de projet n'était pas très adapté à un projet expérimental. En effet, le laboratoire de mécanique fermait sur notre créneau, et nous ne pouvions donc pas y avoir accès librement pendant la séance. Ainsi nous essayions d'y aller avant notre séance de P6 afin de déranger le moins possible les techniciens.

5. CONCLUSION

En définitive, nous avons réussi à créer un prototype de ce banc hydraulique. Cependant, nous sommes déçus de ne pas être allé jusqu'au bout de ce projet. Bien que le banc hydraulique ne soit pas opérationnel, nous avons réussi à concrétiser davantage le projet, à l'améliorer ainsi qu'à apporter des nouvelles perspectives pour les années futures. La construction du banc demande des pièces spécifiques et un budget assez conséquent : pour la pompe par exemple. Nous avons tout de même réussi à rassembler et assembler toutes les pièces ce qui est une avancée pour le projet.

Ce dernier nous a permis d'avoir un aperçu d'une partie de notre métier futur. En effet, nous devons participer à un travail d'équipe, qui est primordial dans la vie professionnelle. Nous avons pu découvrir de nouveaux outils d'organisation ainsi que, plus généralement, le management d'une équipe et la gestion de projet. L'esprit et l'ambiance de notre groupe étant plaisante, cela nous a permis d'avancer dans la bonne entente. Nous avons également pris des initiatives pour faire avancer la construction. La communication est le point le plus important dans nos apports personnels. En effet, nous avons été en contact avec les laboratoires de chimie, les différents départements ainsi que Coria, afin de récupérer des pièces pour notre banc. Le laboratoire mécanique nous a également été d'une grande aide pour la conception et la construction.

Pour les années futures nous avons pensé à plusieurs axes d'améliorations afin de construire un banc hydraulique opérationnel :

Dans un premier temps, la forme du bassin n'est pas la plus adéquate. En effet, un bassin en U serait plus réaliste et plus simple pour contrôler la direction de l'eau. L'ajout de tuyères ou de carénages pourrait également faciliter l'écoulement de l'eau en évitant d'avoir des pertes d'énergie au niveau des turbines. Pour finir sur l'écoulement de l'eau, une autre alternative que nous avons essayé

de réaliser est de remplir le banc, en ne laissant qu'un petit passage pour l'eau. En effet, en remplissant le banc, l'eau est forcément contrainte de suivre les seuls espaces libres.

Par la suite, nous pensons aussi qu'il est nécessaire de réduire la taille du banc : un banc hydraulique miniature. La matière à imprimer serait alors réduite et le projet serait donc plus économe. Cette idée pourrait aussi permettre de construire toute la structure du banc grâce à l'imprimante 3D. Ainsi, réaliser et construire la structure du banc serait beaucoup plus simple et permettrait de créer diverses formes.

Pour finir, une fois la conception du banc opérationnel réalisée, nous avons imaginé des perspectives plus intéressantes. En effet ce banc hydraulique pourrait permettre de recharger un téléphone. La puissance nécessaire serait comprise entre 5 et 10 W, ce qui correspond à un débit minimum de pompe de 55000L/h. Ce débit est très élevé et non applicable à un système miniature. Mais si ce projet arrive à se développer, nous pouvons imaginer un système plus performant et donc qui pourrait permettre de recharger un téléphone.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] lien internet : <https://youmatter.world/fr/eolien-mer-offshore-technologie-transition-ecologique/> (valide à la date du 03/06/2023).
- [2] lien internet : <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 03/06/2023)
- [3] lien internet : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/eoliennes-en-mer-offshore> (valide à la date du 03/06/2023)
- [4] lien internet : [Energie thermique des mers : disponible, prévisible et peu polluante \(toutvert.fr\)](#) (valide à la date du 03/06/2023)
- [5] lien internet : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-thermique-des-mers-ctm>(valide à la date du 03/06/2023).
- [6] lien internet : <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/energie-renouvelable/comprendre-l-energie-houlomotrice>(valide à la date du 03/06/2023).
- [7] lien internet : <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/eco-travaux/energie-houlomotrice> (valide à la date du 03/06/2023).
- [8] lien internet : <https://www.google.com/url?q=https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-thermique-des-mers-ctm&sa=D&source=docs&ust=1683974021196978&usg=AOvVaw0LWqMnJmqrQ-9tBKuyGo5h> (valide à la date du 03/06/2023).
- [9] lien internet : [Principe et fonctionnement de l'hydrolienne \(totalenergies.fr\)](#) (valide à la date du 03/06/2023).
- [10] lien internet : [Hydrolienne — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#) (valide à la date du 03/06/2023).
- [11] lien internet : [Energie thermique des mers : disponible, prévisible et peu polluante \(toutvert.fr\)](#) (valide à la date du 03/06/2023).
- [12] lien internet : [Combien de foyers 1 MW peut-il générer ? - Guide Achat Gamer](#)(valide à la date du 03/06/2023).
- [13] lien internet : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-thermique-des-mers-ctm> (valide à la date du 03/06/2023).
- [14] lien internet : <https://www.ecologie.gouv.fr/energies-marines-renouvelables-0#:~:text=Hydroliennes%20et%20mar%C3%A9motrices%20%3A%20entre%20300%20et%20800%20TWh%20Fan>(valide à la date du 03/06/2023).
- [15] lien internet : <https://www.infociments.fr/ouvrages-au-service-de-la-biodiversite/infrastructures-ecologiques-sous-marines> (valide à la date du 03/06/2023).
- [16] lien internet : <https://www.quelleenergie.fr/magazine/beton-coquillage>(valide à la date du 03/06/2023)

7. ANNEXES

7.1. Schémas de montages, plans de conception

Banc numéro 1 :

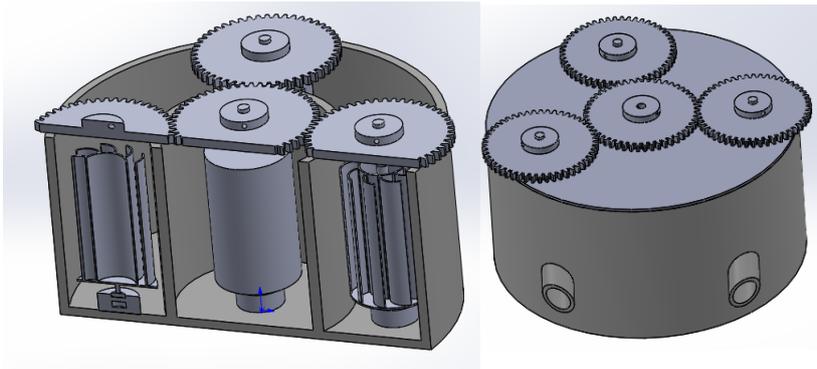


Figure 11 : Première version du banc

Banc numéro 2 :

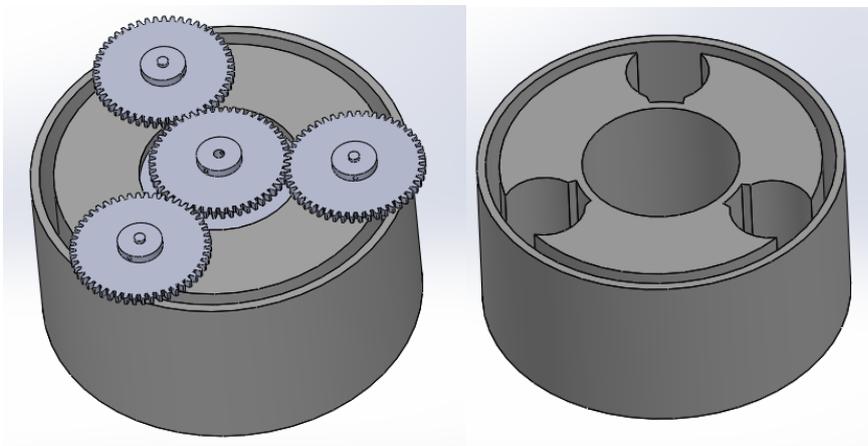


Figure 12 : Banc remplis

7.2. Calcul puissance de la pompe

Débit (L/h)	12500		Données:	
Débit (m3/s)	0,003472222222		p	1000
v(m/s)	0,2572016461		Cp	0,64
S'(cm2)	135		Raxe(cm)	2,5
S(cm2)	60		R turbine(cm)	4,5
Saxe (cm2)	0		H turbine(cm)	15
Pcinétique (W)	0,05104373978			
Pméca, turbine (W)	0,03266799346			
Pméca, engrenage (W)	0,09310378135			
Pélec (W)	0,06051745788			
Pélec (mW)	60,51745788			

Figure 13 : Fichier Excel pour la puissance électrique délivrée

7.3. Pièces achetées

Butée à Billes : <https://www.123roulement.com/roulements-51115>



Figure 14 : Butée à billes

7.4. Rendement

En reprenant des calculs de l'année dernière nous trouvons pour notre système une puissance cinétique de :

Débit (L/h)	6000
Débit (m3/s)	0,001666666667
v(m/s)	0,1234567901
S'(cm2)	135
S(cm2)	60
Saxe (cm2)	0
Pcinétique (W)	0,005645029269
Pméca, turbine (W)	0,003612818732
Pméca, engrenage (W)	0,01029653339
Pélec (W)	0,006692746702
Pélec (mW)	0,006692746702

Figure 15 : Calcul puissance électrique disponible en sortie avec notre pompe

En supposant que nos turbines sont parfaites, leur rendement maximal est donc de :

$$P_{turbine} = \frac{16}{27} P_{cinétique} = 0,0033W$$

Le coefficient $\frac{16}{27}$ est coefficient maximal de puissance extractible d'un courant déterminé par Albert Betz. Nous prenons alors l'hypothèse que les turbines sont orientées parfaitement face au courant.

Le rendement de transmission entre un pignon et sa roue pour un engrenage est de 95% :

Nous trouvons alors :

$$P_{engrenage} = \frac{95}{100} P_{turbine} * 3 = 0,0095W$$

Enfin, pour obtenir la puissance en sortie, le rendement d'une dynamo est entre 60% et 80%:

$$P_{electrique} = rendement \times P_{engrenage} = \{0,0057W - 0,0076W\}$$

On obtient alors un rendement compris entre :

$$\eta = \frac{16}{27} \times \frac{95}{100} \times rendement(60 \text{ ou } 80\%) = [33,8\% ; 45\%]$$