

Hydrolienne

Début de projet: 13/01/2016

Fin de projet: 15/04/2016

Membres du projet:

Juliette Mendras

Victor Guilloux

Sylvain Caville

- Juliette et Victor: Réunion au Pmclab pour fixer les rondelles au moyeu de l'hélice avec de la colle pattex. Assemblage des pièces en notre possession en vue d'une vision globale et grossière du montage final du prototype. Temps de travail 1h30



- Sylvain: Recherche d'une cuve aux bonnes dimensions et qui puisse résister au volume d'eau prévu et au courant de la pompe.
Temps de travail : 1h00

Samedi 20 février

Victor : Recherche et achat d'une bassine. Il s'agit d'une bassine en plastique de la marque IKEA qui est suffisamment résistante pour ne pas se déformer lorsque nous la remplirons d'eau. Temps de travail : 1h00

Mercredi 24 février

Nous décidons de monter l'hydrolienne et de l'installer dans le bassin récemment acquis. Nous devons alors scier l'axe de notre turbine pour ajuster la longueur de l'axe dans le bassin. Nous ne coupons pas plus qu'il n'en faut pour prévoir une éventuelle découpe supplémentaire afin de reculer si besoin, la turbine par rapport à l'endroit où nous ferons entrer l'eau.

La cuve (ou bassin) utilisé n'est pas un parallélépipède rectangle parfait : la surface supérieure est plus grande que celle au fond de la bassin. Nous mettons donc en place, à l'intérieur de la cuve, une graduation qui nous permettra de suivre le volume d'eau qui entrera dans la cuve en fonction du temps afin d'en déduire un débit du flux d'eau qui arrivera sur la turbine. On fait donc une marque sur la cuve tout les 2L d'abord puis 5L en haut de la cuve.

Nous nous concertons au sujet de l'utilisation éventuelle d'un tuyau de PVC pour focaliser tout le courant autour de notre turbine.

Temps de travail : 3h00.



Victor et Juliette : Montage de la partie supérieure du système : le tasseau et le générateur.

Utilisation du banc de tronçonnage pour scier les différentes parties du tasseau (protection : gant+masque+lunette). Utilisation de la fraiseuse pour percer le bois afin de passer la tige fine

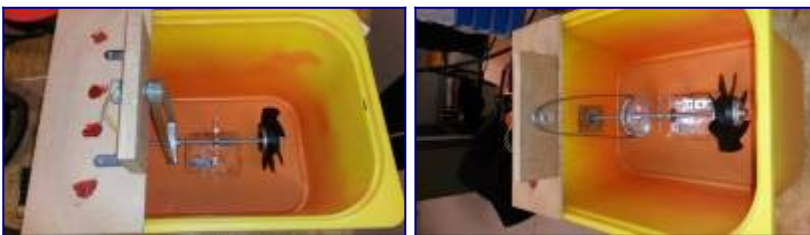
métallique transmettant la rotation de la petite poulie supérieure au générateur. Temps de travail : 2h00

Le soir, nous organisons une conférence téléphonique afin de discuter de la viabilité du projet ainsi que du retard pris sur certaines échéances fixées telles que l'acquisition d'une pompe. Nous réfléchissons à d'autres alternatives. Nous nous intéressons également à la possibilité d'utiliser un tube de PVC ou un cône afin de cibler au mieux l'arrivée du courant sur les pales de notre hydrolienne. Temps de travail : 1h15.

Samedi 5 mars

Juliette : Achat de tube d'acier creux pour la réalisation de la pièce manquante qui permet la fixation de l'axe au fond de la cuve. Conception à domicile et assemblage des morceaux au PmClab à prévoir. Temps de travail : 1h00

Vendredi 18 Mars



Juliette et Sylvain: Nous usinons le support permettant la rotation (cf schéma du montage) et la plaque de plexiglas sur lequel celui ci sera fixé en utilisant la découpeuse laser du Pmclab. Nous fixons ces deux pièces à l'aide d'équerre et nous collons le tout au fond de la cuve à l'aide d'une colle waterproof. Nous fixons également le support fixateur permettant la rotation (cf schéma du montage) au fond de la cuve. Nous discutons du matériel à utiliser pour simuler le courant marin et décidons de ne pas utiliser de pompe car les pompes ne fournissent pas de courant d'eau continu. Temps de travail: 2h

Lundi 25 Avril au dimanche 1er mai

Juliette: Séries de mesures (Débit, intensité, tension, vitesse de rotation de l'hélice).

Nous avons renoncé à l'utilisation d'une pompe car cet outil ne fournit pas un courant continu !

Nous avons donc placé directement en entrée de la cuve un jet d'eau. Modification du montage par système de vis. L'hydrolienne fonctionne.

Sylvain et Victor: Rédaction de l'article à rédiger en Latex.

Mardi 2 mai au vendredi 6 mai

Juliette et Sylvain : Utilisation du jet de jardin à l'aide d'une lance dont on a modifié l'ouverture de façon à ce que l'eau qui en sortait couvre un maximum de surface de l'hélice de l'hydrolienne. On relève une autre série de mesure que l'on exploite par tracé de graphique et comparaison avec la formule théorique de la limite de Betz. En relevant la tension efficace ainsi que l'intensité d'un courant triphasé et alternatif, on peut avoir accès à la mesure de la puissance active de notre alternateur en Watt.



Nous avons entré les valeurs mesurées par nos soins et les valeurs issues de calculs dans un tableau

réf. de référence	réf. de référence de l'axe	Débit (m³/s)	Vitesse de rotation (tr/min)	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe	réf. de référence de l'axe
70	1.00000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000
100	1.00000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000
150	1.00000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000
200	1.00000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000
250	1.00000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000	0.10000000

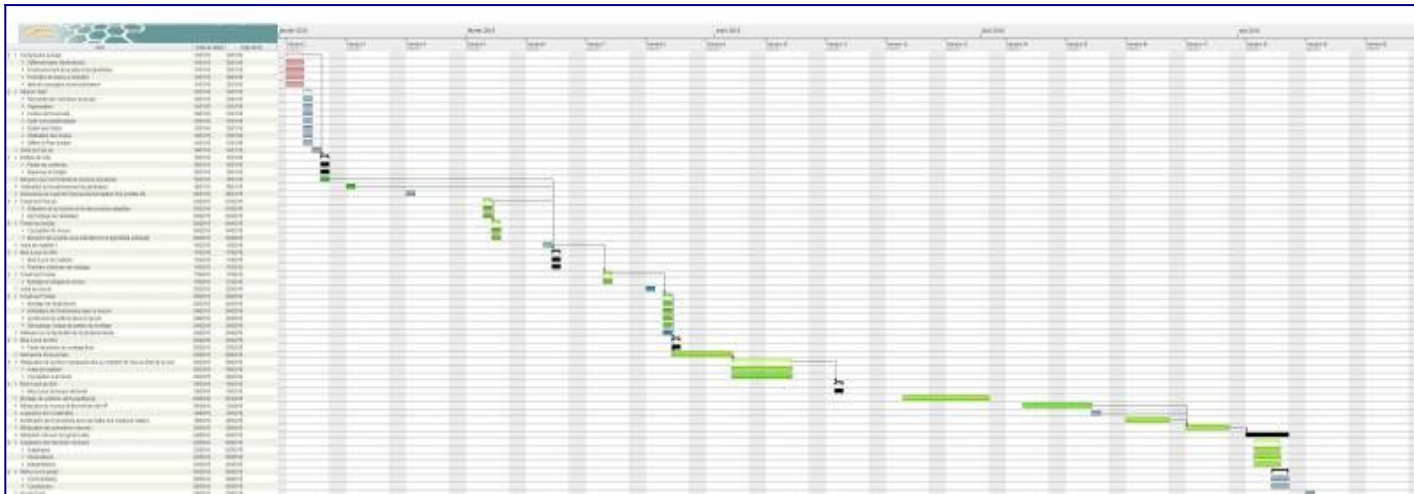
de mesures.

Nous avons ainsi tracé les variations de la puissance produite par notre hydrolienne (et donc l'alternateur) en fonction de plusieurs paramètres fournis au système.

Diagramme de Gantt

Tout au long de notre projet, nous avons tenu un diagramme de Gantt. Il nous aura permis de nous rassurer de l'avance que nous prenions dans certaines tâches mais aussi de nous alarmer sur le retard pris dans d'autres jalons à passer et de remédier immédiatement aux causes de ce retard et de prendre en charge ce souci. Nous définissions alors des alternatives, de nouvelles solutions que nous nous empressions de mettre en place. Une répartition correcte des rôles de chacun, chaque semaine, a été rendue possible grâce à notre diagramme.

Nous avons donc pu comprendre l'utilité de cet outil dans la définition, la réalisation et l'aboutissement d'un projet mais également d'avoir un retour sur le déroulement du projet en comprenant où, quand et de quelle manière nous aurions pu améliorer notre équipe de travail et prévenir d'avantage certains retards tout en comprenant ce qu'il fallait conserver lorsque nous réalisions parfaitement d'autres tâches.



Conclusion

Malgré un rendement relativement éloigné de la valeur théorique que l'on s'attendait à avoir selon la limite de Betz, nous avons tout de même mené à bien ce projet qui, après le montage de l'hydrolienne et du système de la poulie/courroies ne nous montrait aucun signe de tourner un jour : il aura fallu un débit conséquent pour la faire tourner. Nous avons essayé d'expliquer cela par le fait qu'il existait très certainement des frottements au niveau des courroies avec la poulies qui freinait la rotation de l'arbre, mais aussi que ce même arbre devait frotter plus fort qu'on ne le pensait dans le fond de la cuve.

Afin d'améliorer notre hydrolienne, nous avons pensé à fabriquer une nouvelle arrivée d'eau. Mais avec un diamètre plus large afin d'augmenté la surface de contact entre le courant en entrée et l'hélice. L'utilisation d'engrenages plutôt que de poulies est également un paramètres que nous aimerions changer car c'est certainement ce montage avec la poulie qui limite la rotation du système. Insérer la partie de l'alternateur dans l'eau et l'isoler en l'étanchéifiant aurait également été

un travail intéressant.

L'impossibilité d'imprimer une autre pièce par CAO nous a empêché de nous concentrer sur le paramètre de l'angle d'attaque des pales et son rôle certain qu'il aurait eu dans le rendement de notre hydrolienne.

Néanmoins, malgré toutes ces difficultés, nous avons abouti notre projet et notre hydrolienne fonctionne ! Nous avons tout de même pu étudier l'influence du débit, de la vitesse de rotation des pales ou encore de la vitesse du courant en entrée sur la puissance active délivrée par l'alternateur.

Bibliographie

Parmi la grande liste de sites internet et d'ouvrages que nous avons pu consulter, nous en avons répertorié certains qui nous ont permis de mieux comprendre notre sujet:

<http://www.lavionnaire.fr/TheorieFredMon.php> (liste théories portance)

<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16662> (explication portance trainée, effet de bord)

http://eolienne.f4jr.org/eolienne_etude_theorique (formules maths de portance, limite betz etc...)

http://freresguizmo.free.fr/eolienne/index.php?seiten=fabrication_pales (fabrication des pales)

<http://www.tpmaint.com/doselectri/alternateur.html> (fonctionnement alternateur)

<http://sitelec.org/flash/alternateur.htm> (animation triphasé)

<http://sitelec.org/flash/triphase.htm> (animation triphasé)

http://www.mecaflux.com/suite/redacteurs%20partenaires/tutoriel_hydrolienne_domestique.pdf
(guide de construction d'une hydrolienne)

<http://tpehydroliennes.webnode.fr/presentation-du-concept/> (tpe hydroliennes)

<http://tpe.energiesdelamer.free.fr/hydrolienne.html> (tpe hydroliennes)

<http://tpe-hydroliennes.blogspot.fr/p/sur-terre-il-existe-de-nombreux-moyens.html> (tpe hydroliennes)

http://michel.hubin.pagesperso-orange.fr/physique/puissance/chap_puis07.htm (explication dynamo)

<https://www.youtube.com/watch?v=JV50zqHvqAM> (vidéo fonctionnement dynamo)

<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-fonctionnement-d-une-hydrolienne> (vidéo fonctionnement hydrolienne)

<http://forums.futura-sciences.com/physique/268661-energie-cinetique-augmente-pression-diminue.html> (explication effet venturi)

http://phoniatriestrasbourg.free.fr/Site_6/Concepts_physiques.html (explication effet venturi)

<https://www.youtube.com/watch?v=1g17TJgvtmc> (vidéo maquette hydrolienne)

http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/fr/tour/wtrb/async.htm (génératrice asynchrone)

http://max2.ese.u-psud.fr/epc/conservation/BEMA/La_maree_110304.pdf (explication des marées)

http://voilejmh.free.fr/voile/maree_courant.htm (tableau vitesse des marées)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_triphas%C3%A9 (Explication et définition du courant triphasé, calcul de puissances)

Nous sommes joignables à l'adresse suivante : hydrolienne.projet@gmail.com



Pourquoi ce projet ?

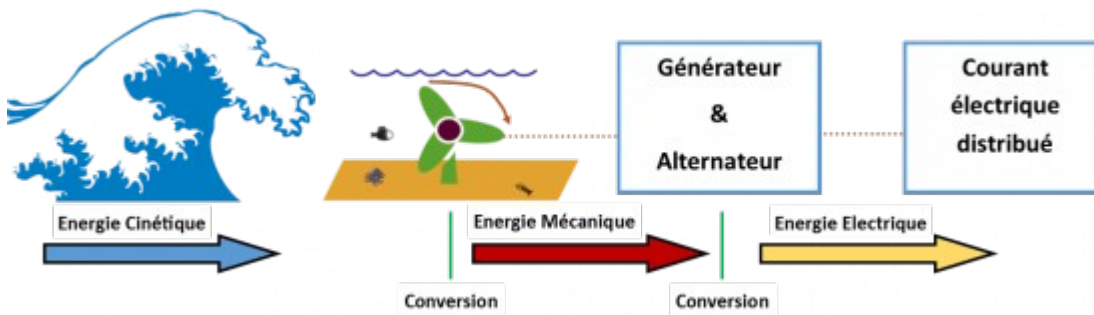
Dans le contexte du réchauffement climatique et de l'épuisement des énergies fossiles (55 ans de réserves pour le pétrole, 110 ans pour le charbon), et récemment de la COP 21, il est nécessaire de s'intéresser dès aujourd'hui à des solutions énergétiques alternatives pour répondre à un besoin mondial en énergie toujours croissant. Ces solutions doivent s'inscrire dans une politique de développement durable et dans cet objectif il est important de développer les énergies propres déjà existante (énergie solaire, éolienne,...) mais aussi de continuer les recherches sur des énergies propres prometteuses (fusion nucléaire, hydrolienne,...). C'est dans cette optique que nous avons décidé d'étudier les hydroliennes et les paramètres de construction ou encore extérieurs à l'hydrolienne elle-même (courant, orientation...) jouant sur la production en énergie et la puissance fournie de ces turbine.

Objectifs

Nous allons construire notre propre hydrolienne et allons simuler un courant marin en laboratoire afin d'étudier la production d'électricité de notre hydrolienne et l'influence des différents paramètres sur cette dernière. Nous espérons ainsi être plus à même de déterminer les avantages, les inconvénients des hydroliennes et pourquoi pas de proposer des solutions afin de pouvoir produire des hydroliennes plus à même de répondre aux besoins énergétiques.

Partie théorique

Avant de pouvoir construire notre propre hydrolienne, il a fallu que nous nous intéressions au fonctionnement de celles-ci. Une hydrolienne est avant tout une centrale électrique qui transforme l'énergie cinétique des courants marins en énergie électrique. Elle est composée d'une turbine qui transforme le mouvement de translation de l'eau, dû aux courants marins, en mouvement de rotation en faisant tourner un axe qui est entraîné par des hélices ou pales. Cette énergie cinétique de rotation est ensuite transformée en énergie électrique par induction par le biais d'un alternateur. Le courant est ensuite acheminé aux consommateurs via le réseau électrique.



Fonctionnement de la turbine

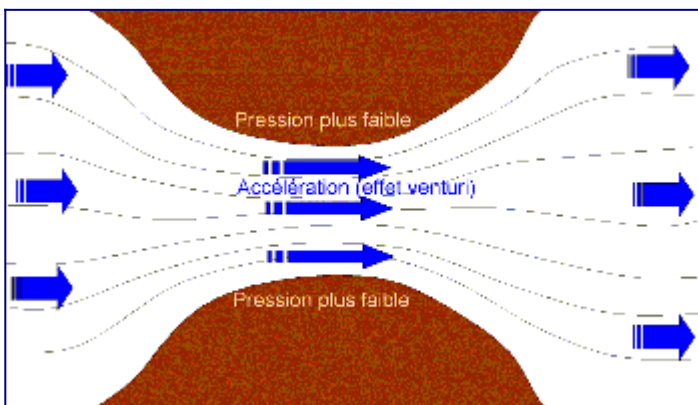
Comme mentionné précédemment, il s'agit du siège de la transformation d'une énergie cinétique en une énergie mécanique.

Le fonctionnement du rotor d'une hydrolienne est le même que celui d'une éolienne. Il est basé sur le phénomène de portance (qui permet par exemple aux avions de voler). On a donc d'abord chercher à comprendre ce phénomène.

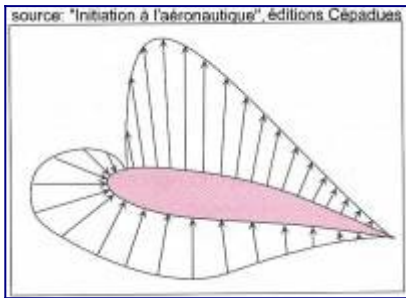
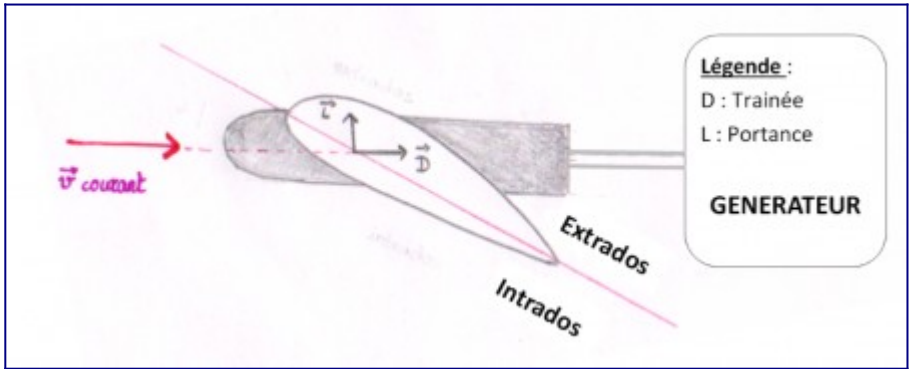
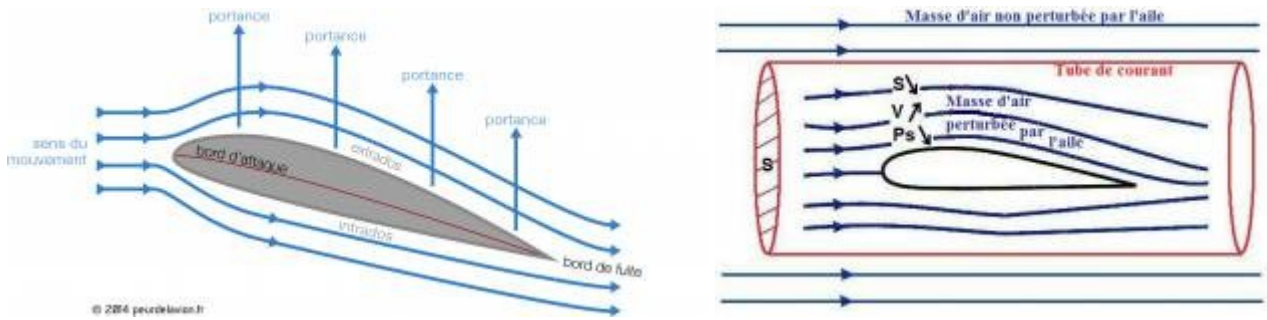
L'explication de ce dernier est à ce jour toujours incomplète et il existe différentes théories l'expliquant et prêtant à débat dans la communauté scientifique.

Néanmoins l'explication la plus courante est celle de l'effet Venturi et du théorème de Bernoulli. Cette théorie ne suffit pas à expliquer la portance et est même en partie fautive mais elle est assez visuelle et constitue une bonne vulgarisation.

Lors de l'écoulement d'un fluide dans un tube dont la section diminue, la vitesse de l'eau augmente par conservation du débit (le produit surface x vitesse reste constant). Cette augmentation de la vitesse s'accompagne d'une diminution de la pression : c'est l'effet Venturi.



Il se produit le même phénomène quand l'eau qui circule dans un tube de courant rencontre une des pales de l'hydrolienne. Sur l'extrados, la section occupée par l'eau diminue donc sa vitesse augmente et la pression diminue. Sur l'intrados la surface reste constante, la vitesse et la pression reste inchangées. La différence de pression ainsi créée entraîne une force qui entraîne la rotation de la pale et donc la conversion de l'énergie cinétique en une énergie mécanique s'opère. (Ci dessous, coupe d'une hélice où l'hydrolienne est vue de profil). On a également représenté, la répartition de pression autour de la pale.



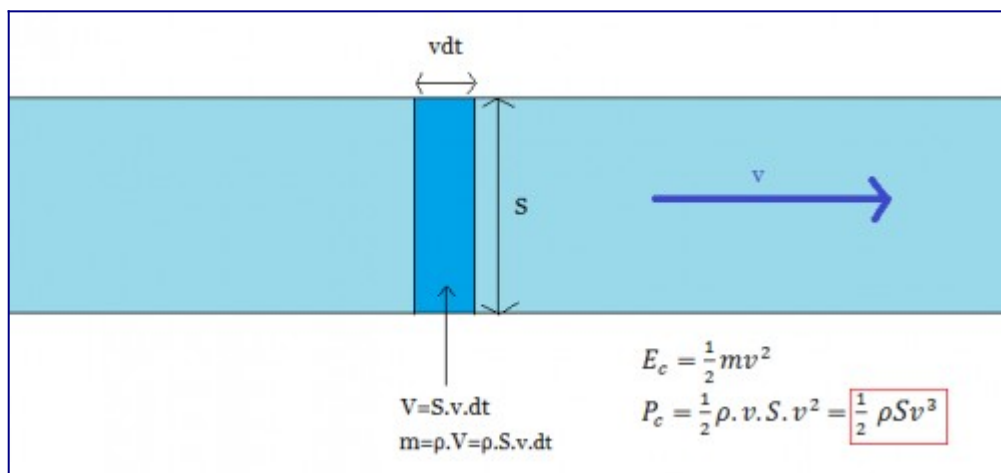
Puissance récupérable et limite de Betz

L'énergie produite par une éolienne provient directement de l'énergie cinétique des courants marins. On peut alors calculer la puissance cinétique théoriquement récupérable.

On écrit l'énergie cinétique contenue dans un cylindre (de section S et de longueur vdt) de fluide (de masse volumique ρ

). Et on en déduit la puissance cinétique du fluide circulant à une vitesse v . Celle-ci est la puissance théoriquement récupérable.

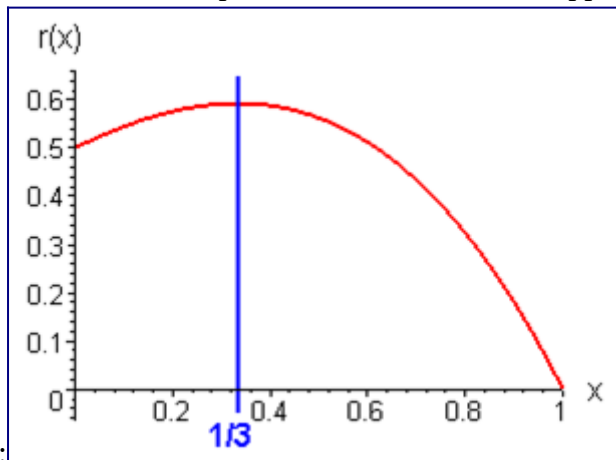
On se place dans le modèle du fluide parfait: sans viscosité, incompressible et en écoulement stationnaire.



A ce stade on pourrait avoir tendance à se dire que pour que l'hydrolienne récupère le plus d'énergie possible, il faudrait qu'elle ralentisse le plus possible le fluide (même jusqu'à arrêter son écoulement) afin de récupérer toute son énergie cinétique. Ce n'est pas le cas. En effet comme on peut rapidement le comprendre, si l'écoulement du fluide est interrompu, l'hydrolienne va cesser de tourner ($v=0$ donc $P_c=0$). On comprend donc qu'il faut arriver à un compromis entre ralentir au maximum le fluide pour récupérer son énergie cinétique d'une part et ne pas trop le ralentir pour conserver une vitesse d'écoulement suffisante. Ce compromis s'exprime par la limite de Betz: la rendement maximal de la turbine d'une hydrolienne est $16/27$ (environ 52 %) et est obtenu pour une vitesse en sortie de la turbine égale à $1/3$ de la vitesse d'écoulement du fluide.

$$P_{\text{extraite}}^{\text{max}} = \frac{16}{27} \cdot P_{\text{incidente}} \quad \text{lorsque} \quad v_{\text{aval}} = \frac{1}{3} v_{\text{amont}}$$

La courbe du rendement en puissance en fonction du rapport entre la vitesse de sortie et d'entrée est



la suivante:

$$x = \frac{v_{\text{aval}}}{v_{\text{amont}}}$$

$$\text{et } r = \frac{P_{\text{max}}}{P_c}$$

On a préféré, expliquer ici la nature physique de cette limite plutôt que de s'attaquer à la démonstration que l'on peut trouver ici par ailleurs: http://eolienne.f4jr.org/demonstration_limite_betz

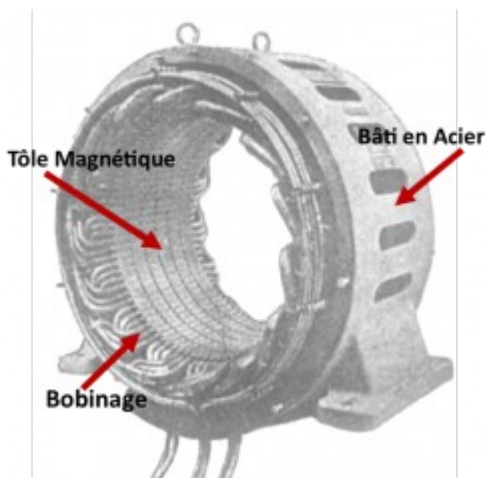
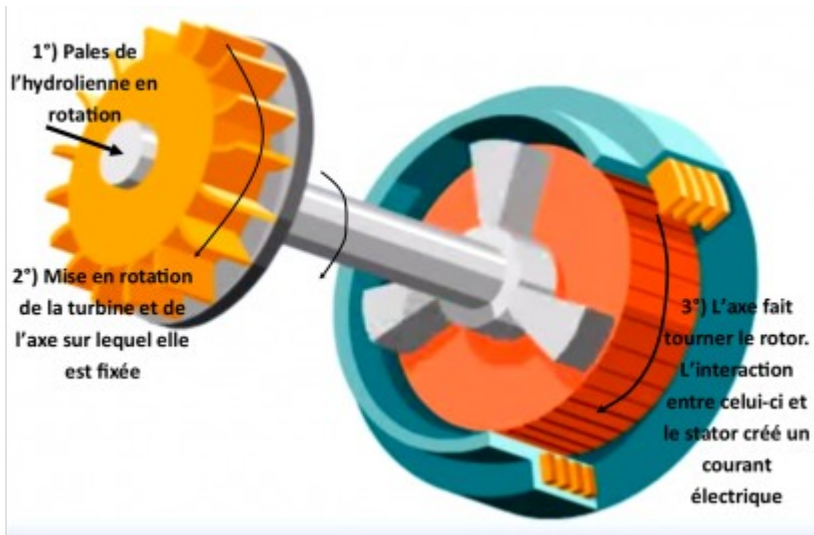
Fonctionnement de l'alternateur

Les pâles sont reliées, via un axe, à un alternateur composé d'un rotor et d'un stator. Ce dernier va convertir l'énergie mécanique reçue par les pâles en une énergie électrique.

Pour simplifier le fonctionnement de l'alternateur, il faut penser que le rotor est un aimant fixé à un axe qui sera mis en rotation. Le stator, fixe, se compose d'un bobinage de cuivre recouvert de tôles magnétiques (afin d'augmenter le champ magnétique engendré par le rotor), le tout étant entouré d'un bâti en acier.

Le rotor tourne donc à l'intérieur du stator immobile et produit un champ tournant qui engendre des forces électromotrices dans l'enroulement du stator. Un courant induit prend naissance dans le stator.

Si on résume, les pales mettent en rotation une turbine reliée à un axe qui va faire tourner le rotor dans le stator fixe pour ainsi créer un courant alternatif.



Notre alternateur fournit un courant triphasé alternatif. Autrement dit il fournit une puissance active appelé aussi puissance “utile” qui se mesure en Watt. Il s'agit de l'apport réel d'énergie à un potentiel récepteur. Cette puissance est alors convertible en travail ou en chaleur. Elle se traduit par l'expression : $P=U.I.\cos(\varphi).\sqrt{3}$
 où U est la tension efficace (V)
 I l'intensité efficace (A)
 $\cos(\varphi)$ est appelé “facteur de puissance” et φ est le déphasage entre U et I.
 Que le système soit branché en étoile ou en triangle (cf : explication dans le lien de la bibliographie), ce calcul de puissance reste le même.

Partie Pratique

Nous avons vu que l'hydrolienne se composait d'une turbine reliée à l'alternateur via un axe. Dans un premier temps nous avons décidé de concevoir notre hydrolienne en récupérant un maximum de matériaux disponibles dans le laboratoire et en usinant le moins possible. Nous voulons produire un prototype avant de nous lancer dans une conception plus complexe d'une hydrolienne par CAO par exemple.

Avec le prototype ou l'hydrolienne finale, il nous faudra faire face à des *contraintes* que nous avons essayé de lister en amont :

- Sur les hydroliennes industrielles, le générateur est plongé dans l'eau avec la turbine et le reste du système. Or, pour des raisons d'étanchéité, nous avons choisi de faire en sorte que l'alternateur (générateur) soit fixé à l'air libre et non dans l'eau, du moins pour le prototype.
- Sur le générateur du laboratoire, une poulie était fixée en entrée ce qui nous a amené à penser à un système de courroie et de poulie pour sortir le générateur de l'eau.
- Nous voulons produire nos expériences dans une cuve avec un débit d'eau que nous pourrions maîtriser. Néanmoins, le courant qui entre d'un côté de la cuve va mettre en rotation les pales puis continuera son chemin pour entrer en contact avec le côté opposé de la cuve et donner naissance à un "contre-courant" qui pourrait jouer négativement sur la rotation de nos pales. Nous devons donc prendre en compte ce phénomène et minimiser son impact sur la turbine.
- Nous allons devoir concilier la force de notre courant avec la vitesse de rotation minimale des pales qu'il nous faudra pour obtenir des mesures intéressantes en sortie du générateur.
- Il faudra que nous réfléchissions à un moyen de fixer la turbine dans la cuve et le générateur à l'extérieur tout en faisant attention à bien tendre la courroie.

En ayant connaissance de ces contraintes, nous serons plus à même de travailler de manière efficaces et rapide en ayant toujours pour objectif de les minimiser.

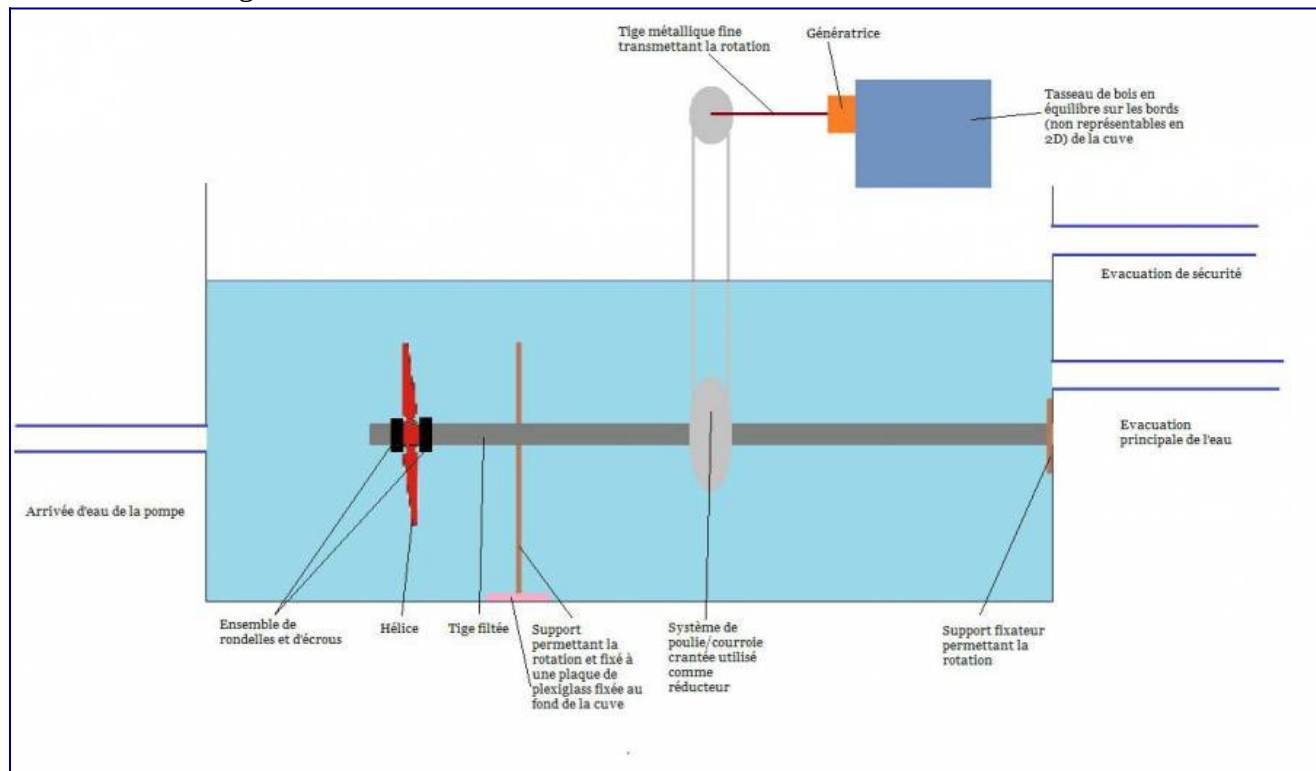
Conception de l'hydrolienne

Le prototype est conçu dans un souci d'usiner le moins possible. Il nous va nous permettre de réaliser de premières expériences, de prendre connaissances de contraintes ou de phénomènes que nous avons omis de prendre en compte, de tester les limites de notre générateur... *Lorsque nous avons réfléchi à la façon de concevoir notre prototype, nous avons pris connaissance de paramètres pouvant influencer sur le bon fonctionnement du système. Outre ceux déjà listé précédemment, il s'agit de paramètres sur lesquels nous pourrions jouer au cours de nos expériences et ainsi modifier possiblement les résultats obtenus lors de prises de mesures sur la production d'énergie électrique du prototype :*

- L'inclinaison de notre hydrolienne par rapport au courant. Ici, l'inclinaison du centre du moyeu par rapport à l'arrivée de courant d'eau.
- Le débit de notre courant
- Limiter le plus possible les frottements de l'axe de la turbine avec le matériel utilisé pour le prototype.
- *Matériel nécessaire :
Turbine : Ventilateur d'ordinateur sans moteur, tige filetée (diamètre : 8mm), rondelles (8 et 12mm), boulons indésérables (8mm).
Arbre : Poulie fixée à la tige par des vis sans tête (référence : DIN 913-M2*5mm), courroie dentée en polyuréthane (référence : T5-545-13-1), Support (cf Schémas) fixé au fond du bassin.
Générateur : moteur de courant continu utilisé ici comme générateur, poulie fixée à une tige lisse
Cuve : Bac de plastique (contenance : plus de 15L) servant de bassin, Tuyaux pour arrivée et sortie d'eau, pompe (finalement inutile), tasseau de bois pour fixer le générateur hors de l'eau, équerre (dimensions : "à venir") pour fixer le tasseau au bassin.

Réseau d'eau : Trois tuyau pour l'évacuation de l'eau : 2 en hauteur et 1 de secours en face de l'entrée, de même au hauteur. Robinet de jardin relié par un tuyau d'arrosage à une lance dispersive en entrée de cuve.

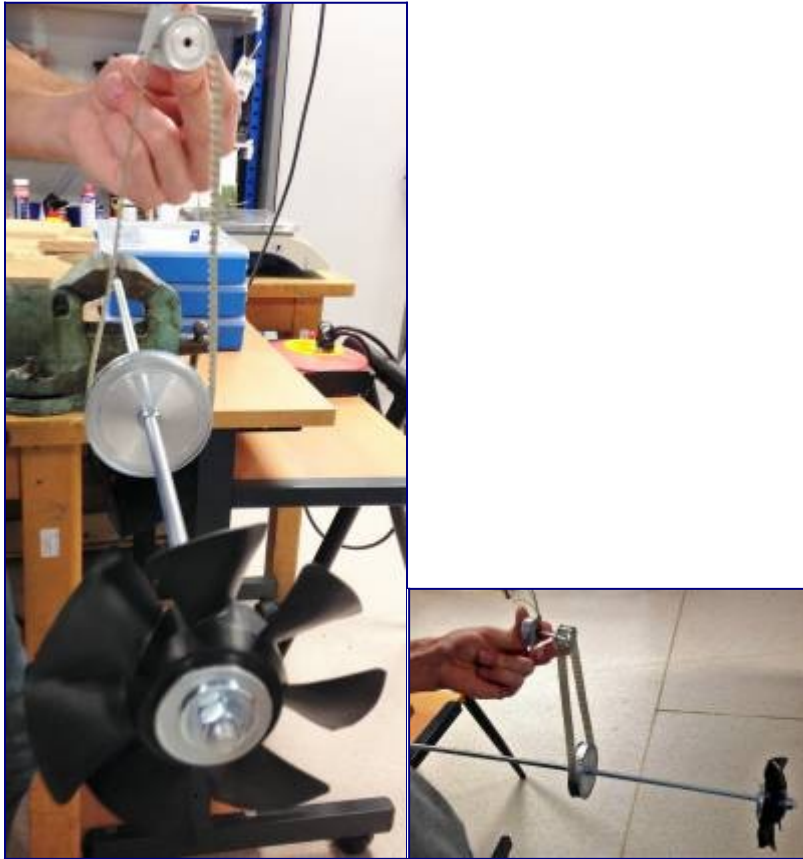
Schéma du montage :



Premières photos du montage en cours et brèves explications :

Il s'agit d'un premier montage, grossier, afin d'avoir une idée de ce que sera notre

prototype final.



- **Turbine et Axe** : Nous avons fixé des rondelles sur l'hélice, pour consolider l'armature du moyeu. Le tout sera fixé à la tige par des boulons indésérables pour empêcher toute rotation du moyeu autour de l'axe : le ventilateur et la tige doivent tourner comme un seul corps.

Système des poulies : Les poulies sont fixées sur des axes. La première poulie sur la tige filetée et la seconde sur la tige lisse ; pour les fixer correctement sur leur axe, nous utiliserons les vis sans têtes. Les poulies sont reliées entre elles par une courroie non élastique ce qui minimisera les déformations s'appliquant sur l'arbre (tige filetée).

Fixation de l'axe au fond du bassin : Afin d'éviter que l'arbre ne se soulève vers le haut et donc à la surface de l'eau dû fait des forces exercé par la courroie sur la tige, nous devons la fixer au fond du bassin. Nous allons utiliser un support de Plexiglas positionné à la verticale dans lequel la tige filetée passera par un système que nous concevrons permettant sa rotation sans frottements. Ce support sera fixé sur une seconde plaque de Plexiglas collée au fond du bassin, on joindra les deux morceaux par un système d'équerres.

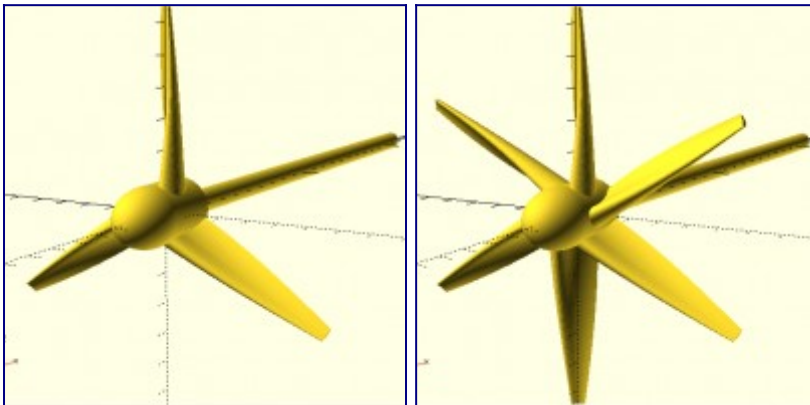
Fixation de la courroie hors de l'eau : Il s'agit à présent de fixer la courroie à l'alternateur. Le tout devant rester hors de l'eau.

Au cours des mesures avec l'hydrolienne imprimée par CAO, le système permettant de fixer l'arbre au fond du bassin s'est décollé. On les a donc fixées en les vissant, tout en prenant garde de ne pas fêler le PVC, matière épaisse mais très fragile quand on la visse. On a donc placé des rondelles et on a étanchéifié le tout avec du silicone pour salle de bain.

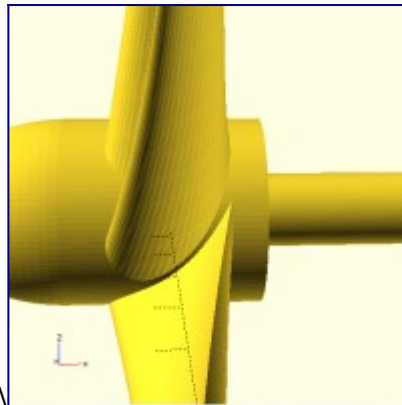
Impression par CAO :

Nous avons modélisé sur les logiciels Blender puis Openscad car ce dernier est plus accessible et nous a permis de créer rapidement les premiers modèles 3D. Les membres du Fablab nous sont venus en aide pour nous familiariser avec le logiciel et nous orienter dans le choix des paramètres à imposer pour l'impression par CAO.

Ce logiciel fonctionne de manière paramétrique. Autrement-dit, la modélisation de l'objet désiré passe par une programmation et la rédaction d'un script dans une fenêtre affichant au fur et à la mesure le prototype 3D sur une seconde fenêtre. Le site internet de Thingiverse nous a permis de trouver des inspirations de modèles déjà présentés pour des turbines. Nous avons alors joué sur les paramètres de la taille des pales (longueurs, largeur du moyeu, épaisseur...) ou encore sur l'angle d'attaque et la "torsion" de chaque pales.



Nous avons choisi un angle de 15° . Il s'agit d'un angle estimé comme optimal pour



optimiser le phénomène de portance.\



Le profil des pales, nous le savons, va jouer un rôle très important dans la portance.

Nous avons appliqué de l'acétone sur nos impressions 3D afin de rendre sa surface plus lisse et d'augmenter son aérodynamisme.

Descriptions et Explications des différentes mesures avec l'hydrolienne finale :

Nous avons intégré l'hydrolienne imprimée par CAO directement au système à la place

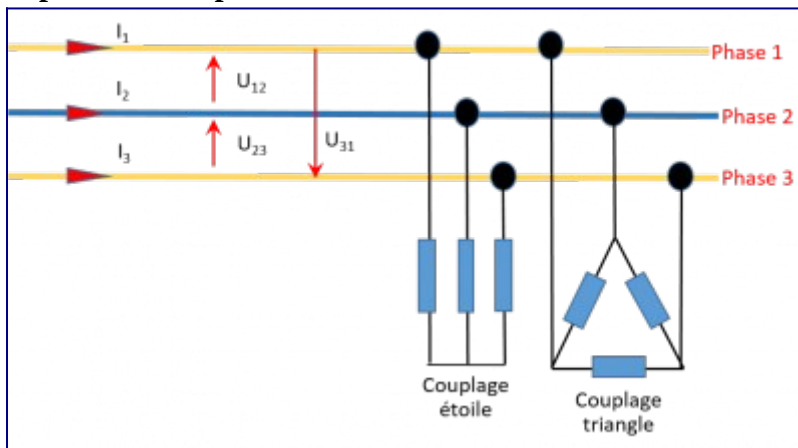
du prototype sans changer la configuration de notre montage. (cf : journal de bord).

Mesure du Débit : Nous avons marqué de petits traits rouges l'intérieur de notre bassine. En effet, on traçait une marque tous les 5L. En mesurant le temps mis par l'eau pour passer d'une marque à une autre, nous pouvions en déduire le Débit (m^3/sec) qui entrainait dans la bassine. Ce débit va nous permettre de déterminer une valeur pour la vitesse du courant en entrée et qui arrivait directement sur les pales.

Vitesse de rotation : Pour mesurer la vitesse de rotation de l'hélice en tour/min, on a coloré le bout d'une des pâles avec un correcteur d'encre de couleur blanche afin de suivre la rotation de celle-ci sans se tromper. L'hydrolienne ne tournait pas assez vite pour que l'on ne puisse plus suivre le mouvement de cette pale. On avait donc une précision sur le décompte plutôt correcte.

Mesures effectuées sur le courant alternatif triphasé en sortie de l'alternateur : La ligne triphasée qui compose la sortie de notre alternateur se compose de trois fils nous en avons donc conclu que nous étions dans le cas d'un système triphasé à 3 fils de phase, sans fil neutre. Nous avons observé que les intensités circulant dans les 3 phases étaient égales, de mêmes pour les tensions entre les phases. Nous avons donc conclu que ce système était très certainement équilibré.

Les tensions entre deux phases sont les tensions dites composées et sont égales quelques soient le deux fils de phases choisis dans notre cas. Ainsi, pour mesurer la tension efficace en sortie de l'alternateur, nous avons branché un voltmètre en dérivation entre la phase 1 et la phase 2.



Comme les tensions étaient les mêmes entre chaque phases, nous aurions aussi bien pu mesurer la tension entre la phase 2 et 3 par exemple. A la différence du courant continu, la valeur affichée sur le voltmètre était la même quand le cordon rouge était branchée sur la polarisation négative et le noir sur la positive ou l'inverse car nous étudions un courant alternatif !

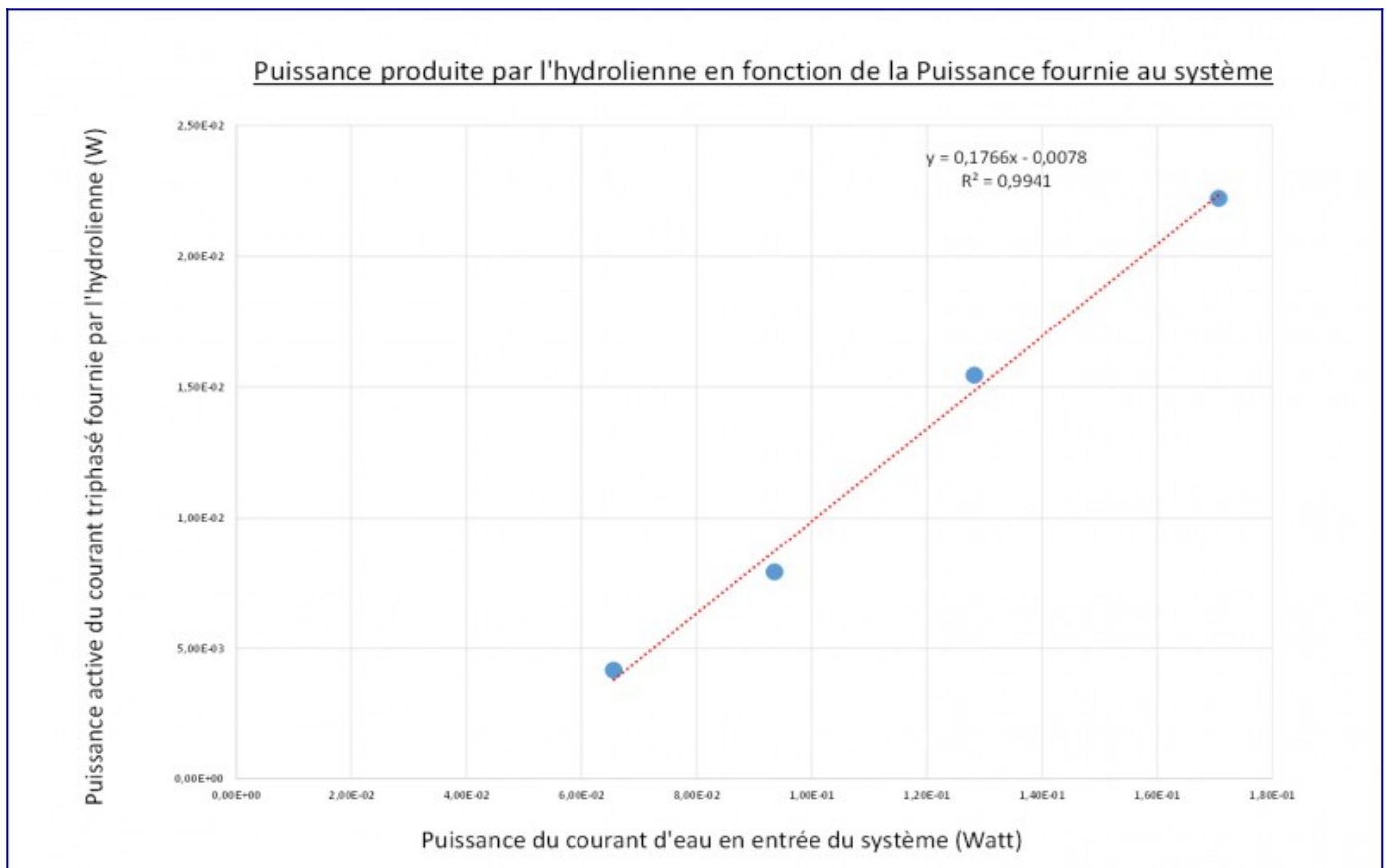
Il s'agissait à présent de mesurer l'intensité de notre hydrolienne. Nous avons donc branché en série notre ampèremètre en vérifiant qu'il était réglé sur la mesure de courant alternatif. Les courants dans chacun des fils de sortie sont tous de même intensité On a donc mesuré une intensité efficace en se branchant à la phase 1. Avec ces mesures nous avons accès au calcul de puissance active délivrée par l'alternateur. Le déphasage, nous l'avons estimé à $\pi/9$.

Descriptions et Explications des différentes mesures avec l'hydrolienne finale : **

Nous avons rentré toutes nos valeurs expérimentales et théoriques dans un tableau de mesures :

vitesse de rotation hélice	vitesse angulaire de l'hélice (rad/sec)	Débit (m ³ /sec)	vitesse du courant (m/sec)	vitesse du courant au cube ($\frac{m}{sec}$) ³	Tension efficace (V)	Intensité efficace (A)	Puissance du courant (W)	Puissance active (W)	puissance maximale théorique (W)	Ecart relatif	Rendement
70 (tour/min)	7,330382858	5L/31sec 1,60E-04	0,91	0,74	1,8	39 mA 3,90E-02	6,56E-02	4,17E-03	3,89E-02	0,89	0,11
120 (tour/min)	12,56637061	5L/28sec 1,80E-04	1,02	1,06	2,2	52 mA 5,20E-02	9,35E-02	7,91E-03	5,54E-02	0,86	0,14
89 (tour/30sec) 180 (tour/min)	18,84955592	5L/25sec 2,00E-04	1,13	1,45	3,3	74 mA 7,40E-02	1,28E-01	1,54E-02	7,60E-02	0,80	0,20
122 (tour/30sec) 244 (tour/min)	25,55162025	5L/23sec 2,20E-04	1,25	1,93	4,21	80mA 8,00E-02	1,71E-01	2,22E-02	1,01E-01	0,78	0,22

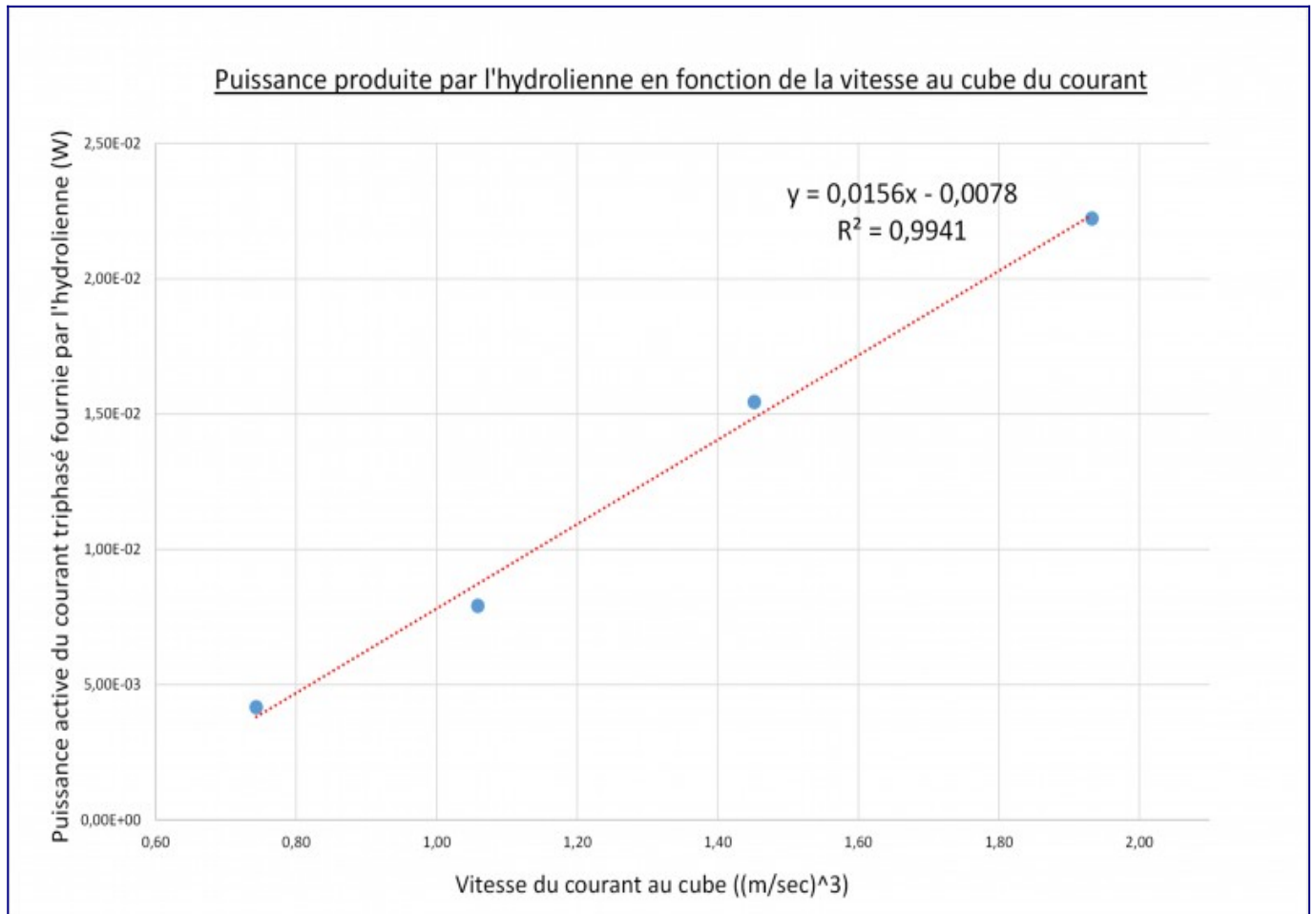
Le rendement se calcule en divisant la valeur expérimentale de la puissance active par la valeur théorique de la limite de Betz qui correspond à la puissance maximale qu'aurait pu fournir notre hydrolienne. On a ainsi tracé différents graphiques qui nous semblaient pertinents et intéressants. Nous avons donc tracé dans un premier temps les variations de la puissance produite par notre hydrolienne (et donc l'alternateur) en fonction de la puissance hydraulique (ou puissance cinétique du fluide) fournie au système. Nous avons modélisé cette courbe par une droite affine et nous obtenions un coefficient de corrélation tout à fait correct. L'ordonnée à l'origine est non négligeable devant le coefficient directeur de la courbe on ne peut donc pas le négliger, cette dernière est également négative. Dire que lorsque la puissance cinétique du fluide (notée P_c) en entrée du système vaut 0, on a une puissance active négative est impossible. Ainsi toute la partie de la courbe où la Puissance active (notée P_a) est négative n'est pas à considérer. Ainsi, c'est à partir d'une valeur déjà élevée de P_c que l'on obtient enfin une valeur de P_a positive. Ce constat est logique et l'on comprend que la valeur de l'ordonnée à l'origine correspond à l'inertie de notre hydrolienne.



Le rendement de notre hydrolienne se calcule tel que $\text{rendement} = P_a / P_{\text{betz}}$, où P_{betz} est la puissance théorique maximale que l'on aurait pu avoir avec notre hydrolienne selon la théorie de la limite de Betz. On trouve alors un rendement moyen de 17% pour notre hydrolienne et un écart relatif de 83% ce qui est tout à fait logique.

Nous avons ensuite étudié les variations de la puissance active en sortie du système en fonction de la valeur au cube de la vitesse du courant en entrée de la cuve. On pouvait modéliser notre courbe par une fonction affine dont on ne pouvait toujours pas négliger l'ordonnée à l'origine. Ici aussi, l'ordonnée à l'origine n'est autre que l'inertie de notre hydrolienne. Sans celle-ci il y aurait proportionnalité entre P_a et la vitesse au cube et par conséquent, proportionnalité entre P_a et P_c . On aurait bien une dépendance en vitesse au cube de P_c et donc une relation du type $P_c = k \cdot v^3$. avec k le coefficient de proportionnalité qui, on le déduit, n'est autre que $(1/2) \cdot S \cdot \rho$: La formule

théorique de la puissance cinétique du fluide.



Journal de bord

Information : afin de visualiser une photo postée dans cette partie de notre Wiki il vous suffit de cliquer sur celle-ci.

De plus, les temps de travaux indiqués dans ce journal ne comprennent pas, pour la plupart de jours, les heures de travaux bibliographiques passés à comprendre les phénomènes ou passés à apprendre l'utilisation d'un logiciel.

Lundi 11 Janvier 2016: Début du projet, réunion à la bibliothèque

Nous commençons par faire des recherches générales sur les hydroliennes. Nous discutons de l'orientation que nous voulons donner au projet et commençons à définir nos objectifs. Nous nous renseignons sur le phénomène de portance. Temps de travail: 4h

Mardi 12 Janvier: Réunion à la bibliothèque:

Nous identifions les principaux composants d'une hydrolienne et faisons des recherches globales de compréhension sur l'un des composants: l'alternateur. Temps de travail: 3h

Mercredi 13 Janvier: Réunion organisée pour tous les participants à l'UE 3P022:

Explication des objectifs de l'UE et du travail à effectuer. Ajout d'un troisième membre au groupe: Victor Guilloux. Rencontre des membres. Nous répartissons les rôles pour la/les semaines à venir. Nous prévoyons les réunions à venir et la découverte du pmclab en fonction des disponibilités des membres du groupe. Temps de travail: 2h

Jeudi 14 Janvier: 1ère visite du Pmclab.

Nous prenons connaissance des outils à notre disposition pour réaliser notre hydrolienne: Nous choisissons de récupérer l'hélice d' un petit ventilateur (type ventilateur pour ordinateur) pour servir de pales à notre hydrolienne.



Nous récupérons également une dynamo pour l'utiliser comme alternateur dans notre hydrolienne.



Temps de travail: 2h

Vendredi 15 Janvier: Réunion au Pmclab: Nous décidons de choisir un modèle d'hydrolienne où l'on aura pas à gérer les problèmes d'étanchéité que nous jugeons trop compliqués pour un premier modèle. Nous partons donc sur un système de poulie/courroie pour positionner le générateur hors de l'eau. Nous mesurons les crans de l'alternateur pour acheter une courroie crantée. Temps de travail: 1h30

Lundi 18 Janvier: Vérification du bon fonctionnement de la dynamo: Juliette et Sylvain : Branchement de la dynamo sur un multimètre et observation de l'apparition d'une tension aux bornes de celle ci lorsque l'on fait tourner manuellement la dynamo. Temps de travail: 45 min
Victor : recherche sur la l'impression 3D et la conception par CAO avec le logiciel Blender. Apprentissage des bases de ce logiciel. Temps de travail : 2h30.

Lundi 25 janvier: Concertation autour du sujet de l'impression et la conception d'un modèle 3D d'hydrolienne. Présentation du logiciel par Victor, étude du logiciel. Première modélisation des pales fixées à un moyeu par blender. Etude de projet déjà réalisés sur le site internet “*thingiverse*”. Temps de travail : 2h30.



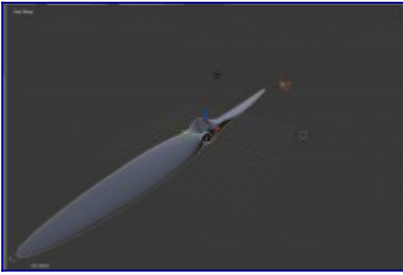
Mercredi 3 février: Réunion au Pmclab:

Nous nous sommes procurés une courroie dentée et deux poulie (une grande et une petite) adaptée à celle-ci et qui serviront de réducteurs à notre hydrolienne. Nous avons discuté d'un moyen de fixer le générateur hors de l'eau. Nous avons pensé à utiliser un tasseau. Temps de travail 1h30

Vendredi 5 février

Victor : Conception avancée sur Blender, adaptation des formes de pales aux besoins. Temps de

travail : 1h30.

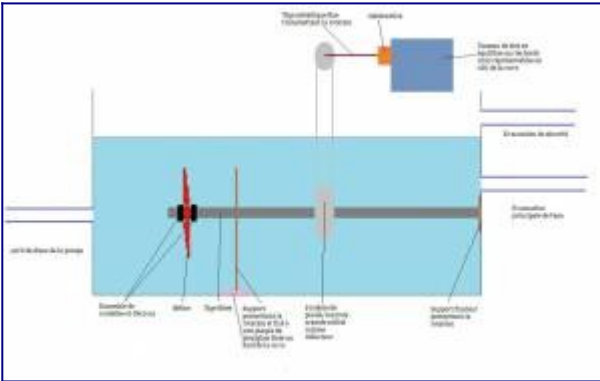


Mercredi 10 Février: Réunion au Pmclab:

Nous séparons les hélices du ventilateur du reste de ses composants.



Nous décidons de comment fixer les différentes parties de l'hydrolienne dans la cuve et entre elles, et du matériel nécessaire aux fixations. Nous réalisons un schéma du montage final prévu.



Nous allons à Leroy-Merlin pour acheter le matériel. Temps de travail: 4h

Mercredi 17 février: