

Conception et réalisation d'une hydrolienne domestique

Attention : l'implantation d'une installation hydro-électrique nécessite d'obtenir une autorisation préalable auprès des services des eaux et forêt de la DDT dont dépend votre propriété.

I- Données de départ

1)- Recueil des données hydrologiques de votre cours d'eau :

Si comme moi vous avez de la chance, une simple recherche de votre cours d'eau sur Wikipédia peut vous donner les renseignements nécessaires à l'estimation de vos capacités de production .

Ainsi, j'ai pu avoir les données suivantes :

- Débit moyen : $2,00 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$
- Débit moyen mensuel : De $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$ en août à $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$ en février
- Record niveau le plus bas : $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$
- *QIX 2 : $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$
- *QIX 5 : $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$
- *QIX 10 : $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$
- *QIX 20 : $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$
- *QIX 50 : $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$

*QIX : le **QIX**, ou « quantité instantanée maximale », est la valeur du débit instantané maximal d'un cours d'eau sur une période donnée (source : [Wikipedia](#))

Comme vous pouvez le constater, il s'agit d'un cours d'eau extrêmement irrégulier avec un rapport de 1:10 sur une année « classique » et supérieur à 1:100 si l'on prend les records.

2)- Définir le lieu d'installation :

Il faut maintenant choisir un lieu sur votre cours d'eau où installer votre hydrolienne. Il faut que ce soit facilement accessible pour la maintenance et qu'il y est une concentration naturelle du courant pour limiter toute intervention sur le lieu.

Une fois le lieu choisi il y a deux approches possibles :

- Relever la topologie exacte du lieu pour concevoir une hydrolienne qui s'adapte parfaitement au lieu et à vos besoins
- Concevoir une hydrolienne qui s'adapte parfaitement à vos besoins mais qui nécessitera une intervention mineure sur le cours d'eau pour être pleinement opérationnelle.

J'ai finalement choisi la seconde solution pour plusieurs raisons :

- Difficultés à relever la topologie du lieu.
- Nécessité de concevoir un appareil très petit et discret pour limiter les risques de vol mais aussi pour diminuer les coûts de production.

- Barrage naturellement présent sur mon cours d'eau me permettant de n'avoir que d'infime modification à faire.

3)- Estimation des besoins électriques

Il y a plusieurs solutions pour estimer ses besoins électriques. On peut regarder sa facture EDF, relever son compteur ou encore estimer approximativement à partir de la consommation moyenne de chaque appareil.

S'agissant pour moi de réaliser une installation électrique totalement hors réseau, il faut que je sois capable de produire l'intégralité de mes besoins grâce à cette hydrolienne. Même si à terme je disposerais de 3 sources différentes (Hydro, Solaire et Groupe électrogène GPL) chacune d'entre elles doit être capable de couvrir intégralement mes besoins, le tout en étant couplé à un parc de batterie. Le gros avantage du couple Hydro/Solaire c'est que ces deux moyens de production sont totalement complémentaires. En effet, le débit d'un cours d'eau baisse lorsqu'il n'y a pas de pluie et donc lorsqu'il y a du soleil.

Pour ma part, ma consommation quotidienne varie entre 4Kwh et 8Kwh/jours.

Dans l'idéal, j'ai donc besoin de produire en moyenne:

$$8000\text{w/h} / 24\text{h} = 333\text{W}$$

II-Conception de l'hélice

1- Contraintes de départ

Avant de se lancer dans la conception, il vaut mieux se remémorer les contraintes auxquelles on va devoir répondre afin de ne rien oublier.

Voici les miennes :

- Produire 330w au minimum.
- Ne pas dépasser 60cm de hauteur (c'est mon estimation de la hauteur minimale du cours d'eau et mon idée de départ était d'avoir un appareil totalement immergé avec une partie étanche contenant le générateur.)
- Rendre indétectable.
- Limiter au maximum les coûts de production.

2- Conception basique de l'hélice :

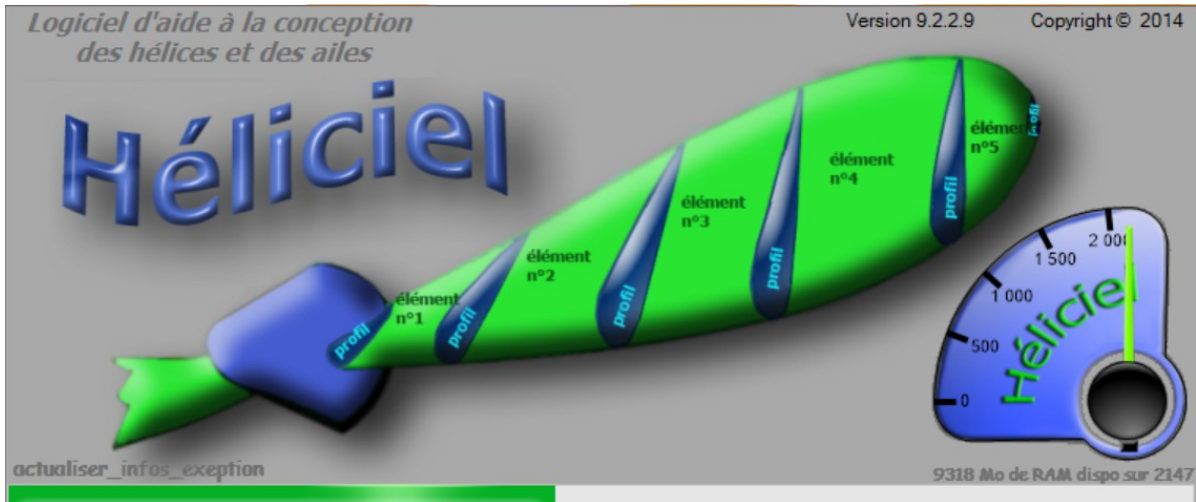
A partir de mes contraintes de départ j'ai tout d'abord défini la taille de mon hélice. Puisque mon hydrolienne ne devait pas dépasser les 60cm de haut. Comme je devais au vu de mes premiers croquis, réserver environ la moitié de cette hauteur au générateur, cela me laissait donc une hauteur de 30cm. L'hélice devait donc entrer dans un carré de 30cm de côté.

J'ai ensuite enlevé à ces 30 cm une marge de 6cm, n'ayant à ce moment là qu'une vague idée de la manière dont j'allais caractériser le tout. Cela me laissait donc une hélice de 24cm de diamètre.

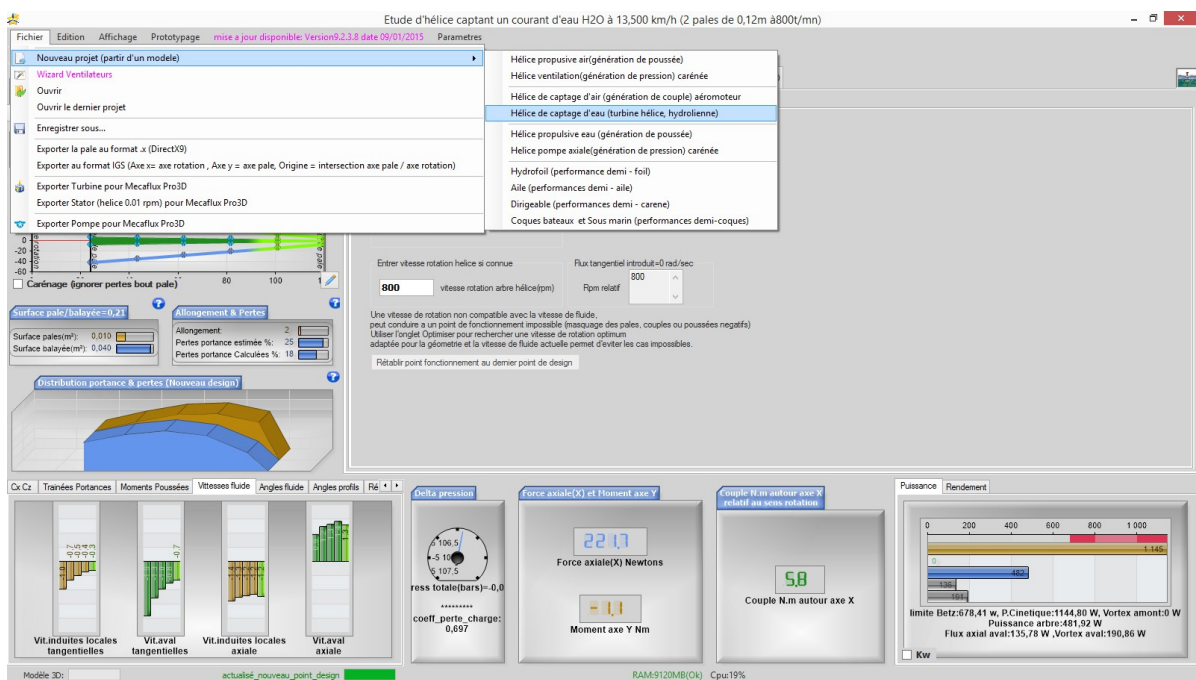
Ce pose alors la question de la faisabilité.

Est-il possible de produire 330w avec une hélice de 24cm compte tenus des données hydrologique dont je dispose ?

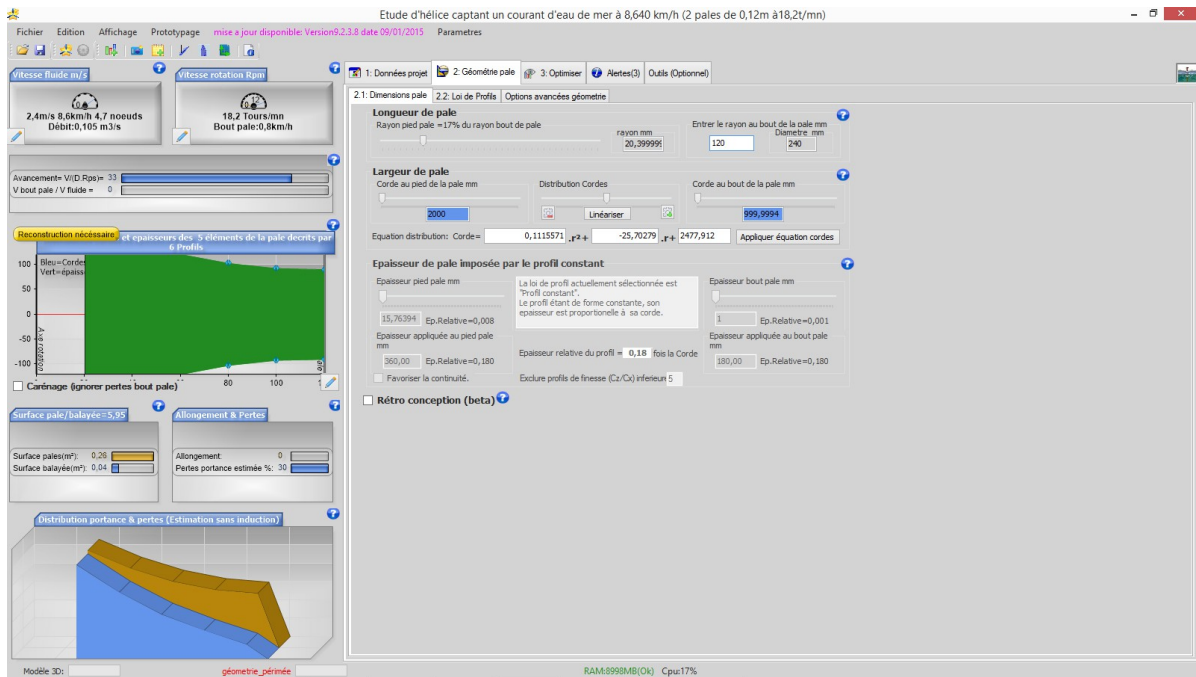
Pour cela je me suis tout d'abord servis d'héliciel pour voir ce qu'il était possible de produire avec une telle hélice. Voila la procédure :



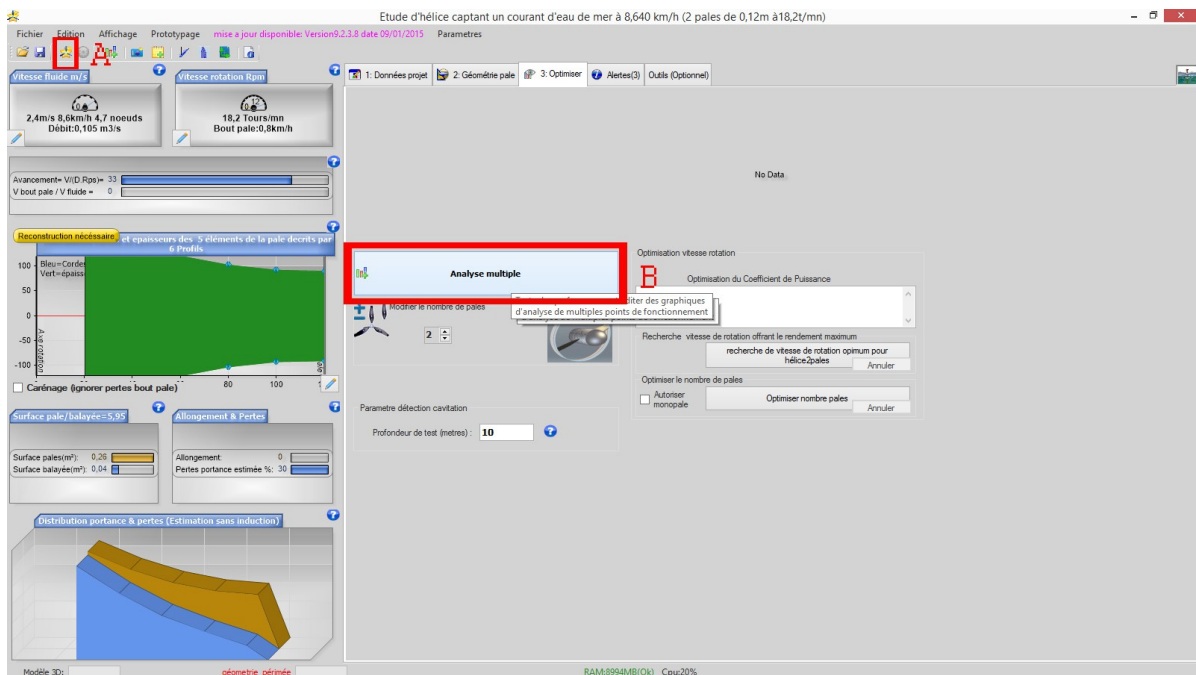
1-Créez un projet d'hélice de captage d'eau



2- Changez le rayon au bout de la pale



3- Après avoir lancé la modélisation (A) Lancez une analyse multiple (B)



4- Cochez la case puissance utile puis lancez l'analyse multi-points

La courbe qui nous intéresse est celle de la puissance utile qui dans ce cas ci correspond à la colonne « puissance cinétique ». Il s'agit de la puissance maximale qui pourrait être produite par ce courant avec une hélice de cette taille dans un système parfait.

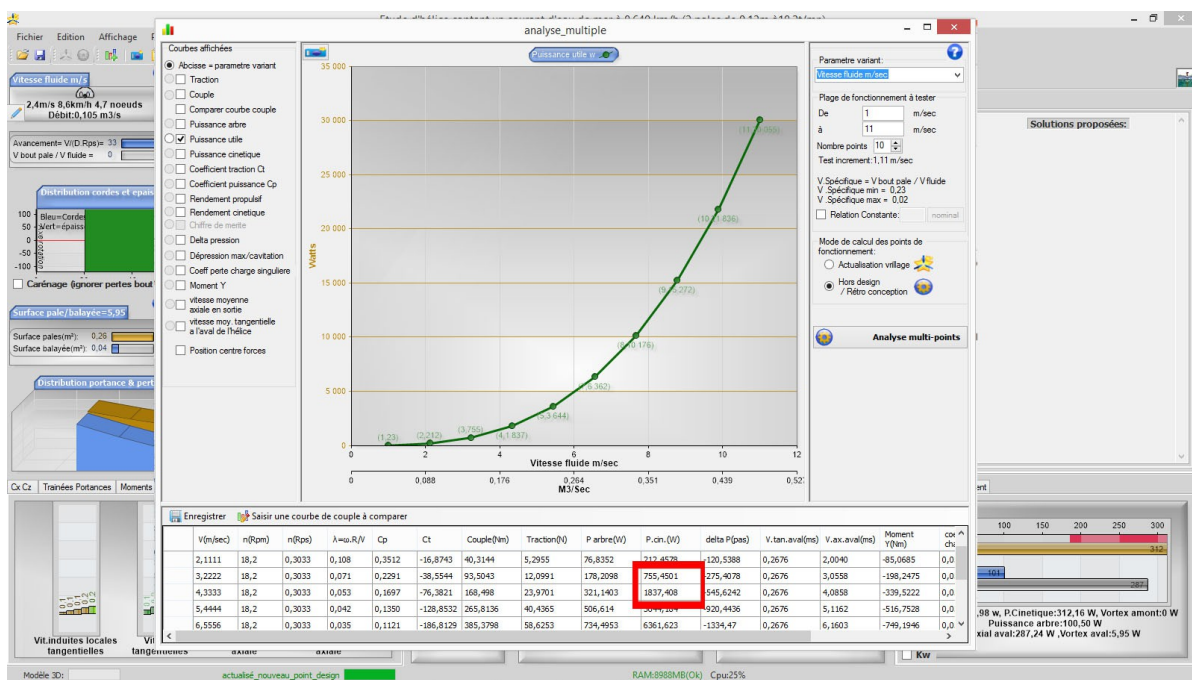
Seulement un système parfait ça n'existe pas :

Tout d'abord il existe une loi physique qui s'appelle la limite de betz, qui indique que la puissance maximale théorique développée par un capteur éolien est égale à 16/27 de la puissance incidente du vent qui traverse soit environ 0,59*la puissance utile. Mais la encore il s'agit d'un idéal

A cela on doit ajouter aussi tout les perte à venir qu'elles soit mécaniques ou électriques. Je suis donc partis sur un rendement maximal de 0,4 mais je conseille plutôt de partir sur 0,3 au maximum. C'est à dire que pour chaque watt de puissance utile, je ne récupérerai certainement que 0,3w.

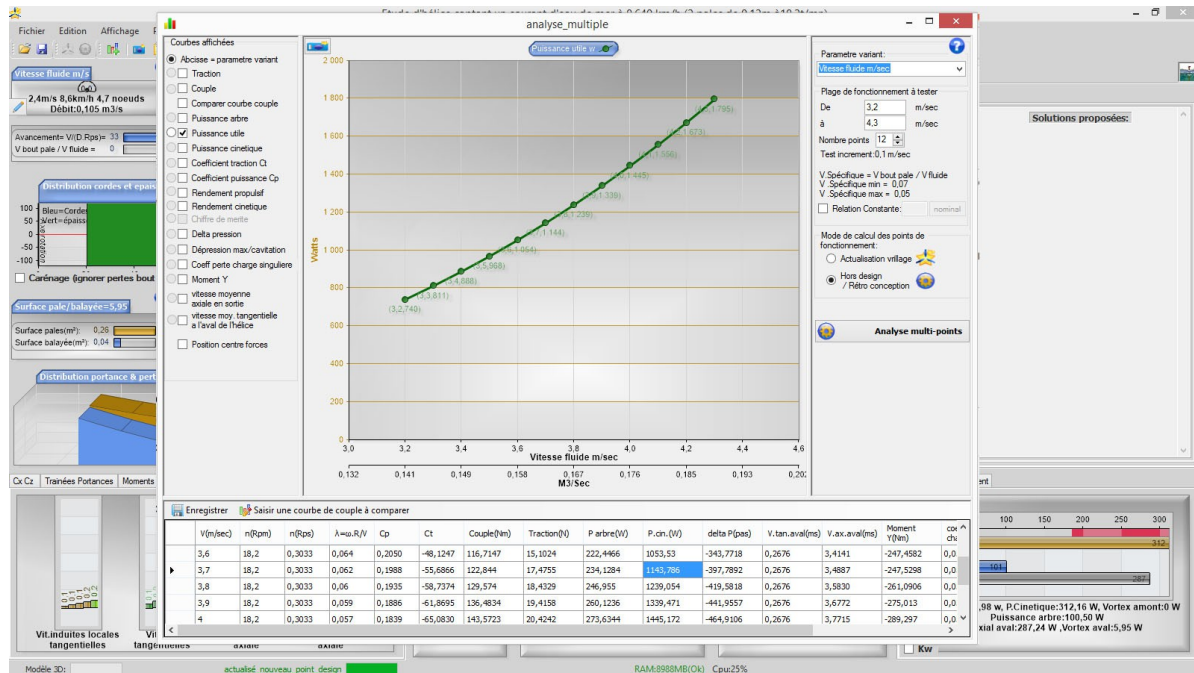
La puissance utile nécessaire pour produire 330w est donc de $330/0,3=1100W$

Si l'on retourne à notre tableau, on voit que cette puissance est atteinte pour une vitesse comprise entre 3,222 et 4,333m/s :



En relançant une analyse mais en affinant la plage, on voit que cette puissance est atteinte à

une vitesse de 3,7m/s :



Ce pose alors une nouvelle question.

Peut-on atteindre cette vitesse avec notre cours d'eau ?

Pour savoir cela, nous devons calculer combien de m³·s doivent passer par le carré contenant l'hélice pour atteindre cette vitesse. Il faut appliquer la formule suivantes : Aire du carré(m²) X Vitesse à atteindre (m/s) = Débit nécessaire (m³·s)
 $0,3^2 * 3,7 = 0,333 \text{ m}^3 \cdot \text{s}$

Mis en rapport avec les relevés d'hydrologie dont on dispose, on ce rend compte que pour un débit moyen : 2,00 m³·s /0,333 cela représente 1/6 du débit, pour février cela représente 1/12 ème du débit et pour août cela représente la quasi totalité du débit. On remarque aussi qu'en période de sécheresse record, il n'y a pas assez de débit pour produire nos 330W.

Même si cela n'est pas parfait, cela me conviens tout de même une fois mis en relation avec le lieu choisit.

On part donc sur une hélice de diamètre 24cm fonctionnant avec une vitesse de 3,7m/s.

3- Conception approfondie de l'hélice. :

Le logiciel héliciel est vraiment très intuitif. Pour ma part j'ai préféré tâtonner pour trouver la meilleure configuration possible, avec le moins d'erreurs possible, en conservant pour seule paramètres fixe le diamètre de l'hélice et un fonctionnement idéal à 3,7m/s mais que vous trouverais des informations pour faire cela bien mieux que moi sur le site d'heliciel.

Au final, j'ai obtenu une hélice avec ces caractéristiques :

- deux pales

- vitesse 800rpm
- Rayon pied de pale : 24mm (20%)
- Corde pied de pale 84mm
- Corde bout de pale 13,2mm

4- Modélisation et export au format .STL :

Je me suis servi de la méthode que vous trouverez [ICI](#) pour récupérer mon hélice au format .STL afin de pouvoir utiliser mon hélice dans un logiciel de CAO et plus tard pour la faire imprimer

5- Trouver le générateur adéquat :

Il est quasiment impossible de trouver un générateur qui génère exactement la bonne puissance au même nombre de tour/minute. Mais il faut au maximum diminuer le rapport entre l'arbre de l'hélice et l'arbre du générateur pour diminuer les pertes dues à la transmission ainsi que l'usure des pièces.

Je me suis orienté vers un générateur de ce genre.

http://www.windbluepower.com/Permanent_Magnet_Alternator_Wind_Blue_Low_Wind_p/dc-540.htm

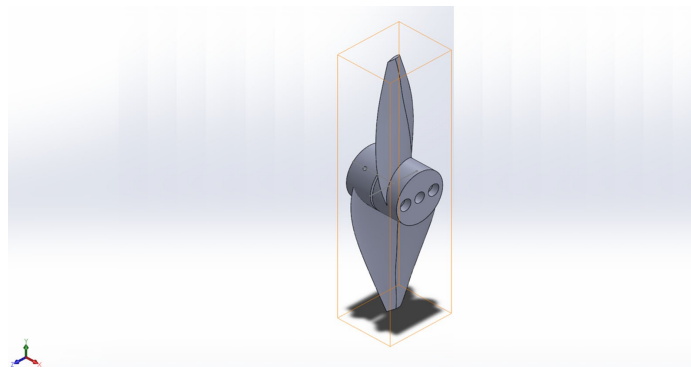
Pas exactement le même puisque j'ai eu la chance d'en trouver un à la moitié de ce prix là sur ebay mais avec exactement les mêmes performances.

Cet alternateur à aimant permanent génère du 300w au alentours de 500 rpm, ce qui me donne un rapport plutôt bon puisqu'il est de 1,6 (800/500), c'est à dire que l'hélice aura besoin de faire un tour et demi pendant que le moteur n'en fait qu'un pour que je puisse générer du 300W.

III- De la CAO au prototype :

Tout la conception a été réalisée sur en CAO avec le logiciel solidworks mais il est tout à fait possible de faire la même chose avec un logiciel open source. Dans les prochain paragraphe je traite de chaque partie de l'hydrolienne individuellement de sa conception à son prototypage mais il est évident que j'ai attendu d'avoir conçus l'intégralité de mon système en CAO avant de commander la moindre pièce.

1- L'hélice :

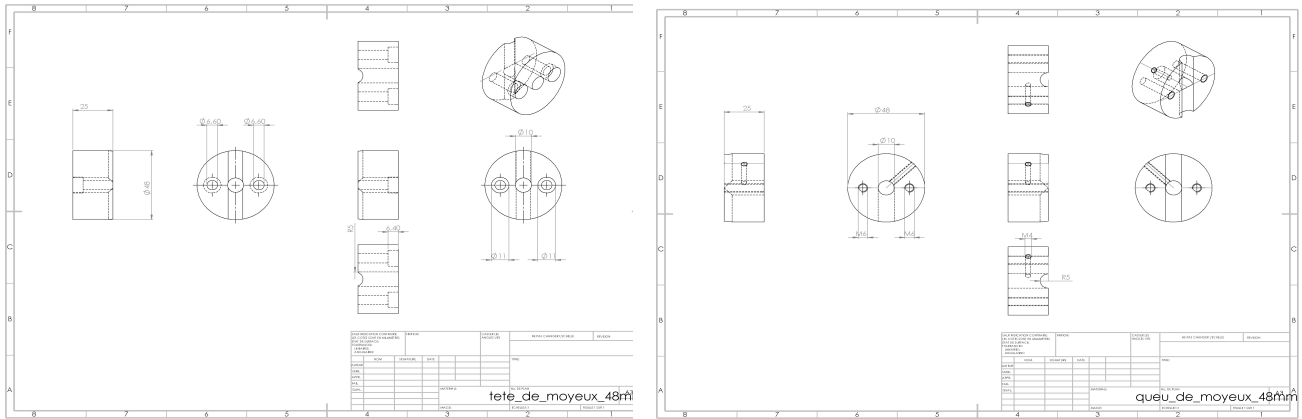


Pour l'hélice, je me suis dans un premier temps orienté vers mecaflux qui a la capacité de réaliser des prototypes. Malheureusement, il ne pouvait réaliser celle de mon projet, mais sur leurs conseils,

je me suis tout de même orienté vers une conception proche de ce qu'ils proposent avec un moyeux en 2 partie prenant en étaux les deux pales indépendantes à l'aide de deux boulons et fixé à l'arbre à l'aide d'une vis de pression.

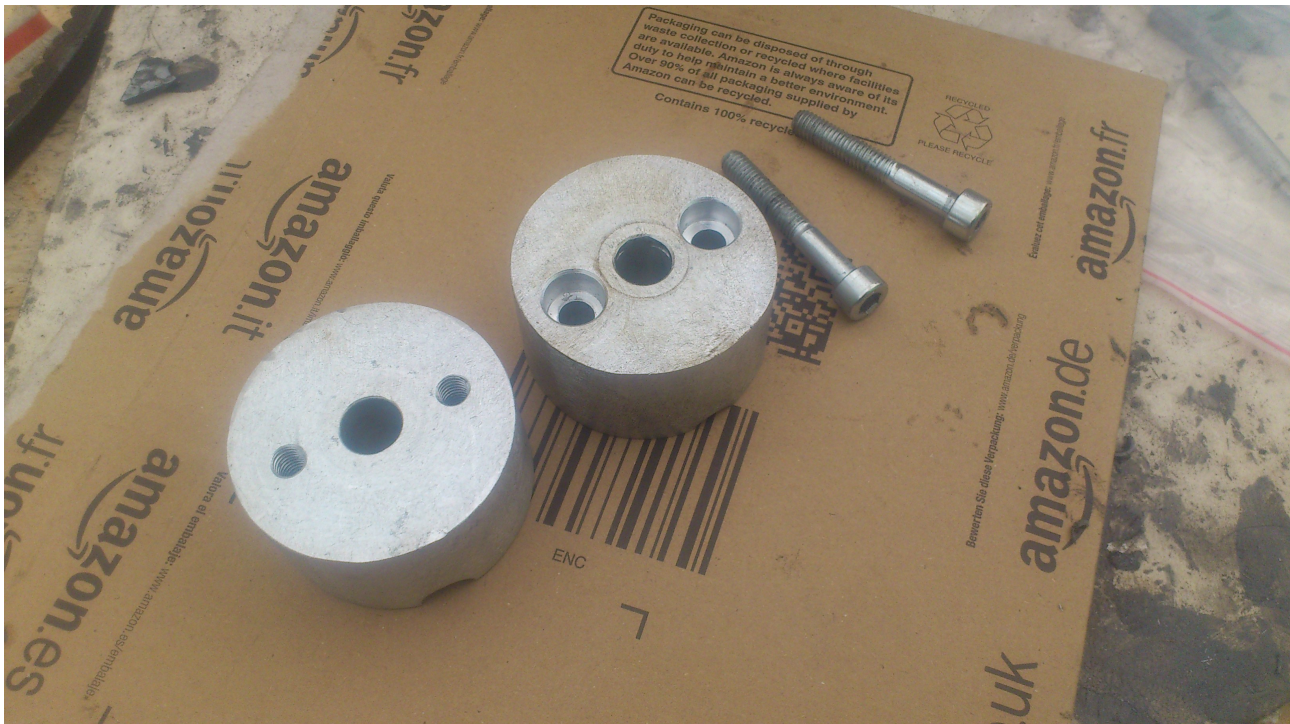
[Voici les prototype que mecaflux propose de réaliser](#)

Réaliser les plans des deux parties du moyeux à était assez simple en m'aidant de solidworks :

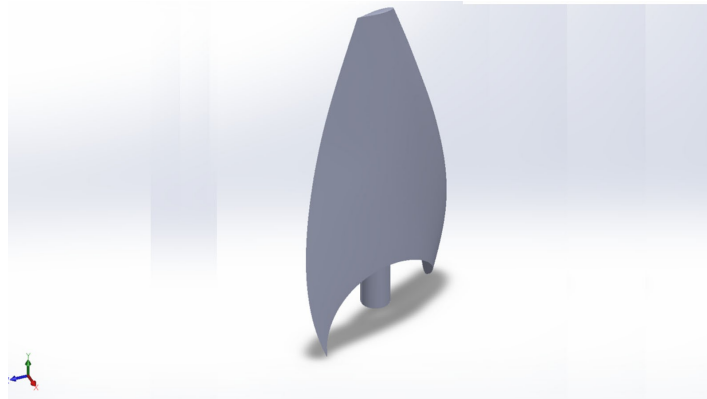


J'ai confié le travail d'usinage à un autoentrepreneur trouvé sur le site [usineur.fr](#). Les deux pièces du moyeux ont été réalisées en aluminium et reçus en moins de 3 jours pour 55€.

Voici le résultat :



La vraie difficulté à été de réaliser les 2 pales.



J'ai dégagé trois solution :

- Faire usiner les pièces
- Faire imprimer les pièces
- Les réaliser moi même par moulage

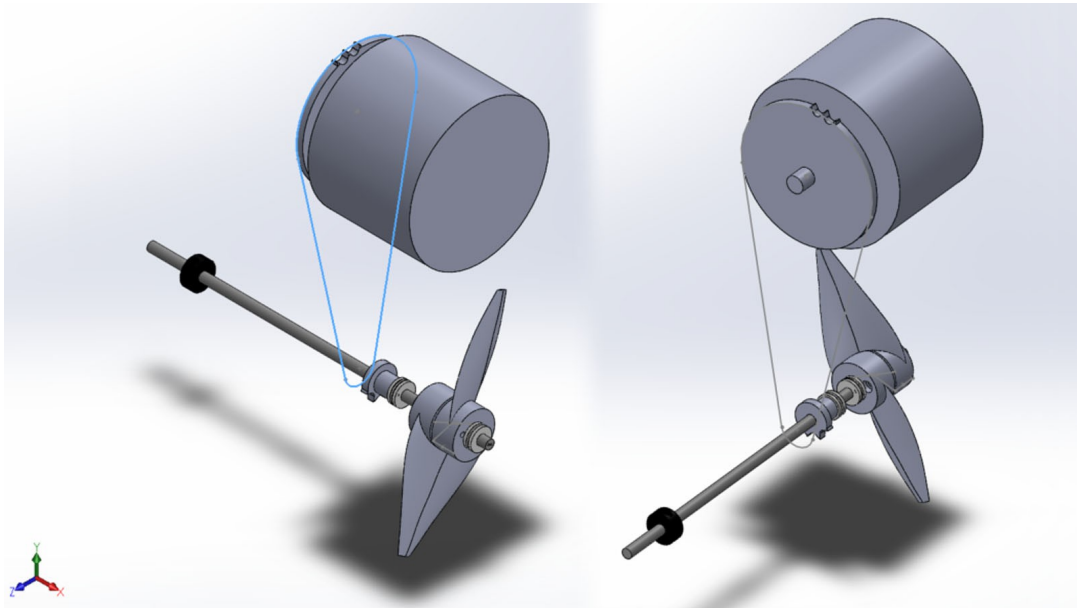
A mon grand étonnement, il s'est avéré que l'option de faire imprimer la pièce était la moins onéreuse mais qu'en plus le matériaux semblait compatible avec mon projet. A l'heure actuelle, après plusieurs essai cela semble se vérifier.

Je suis passé par le site <https://www.shapeways.com> dont les prix sont très compétitifs et j'ai fais réaliser la pièce en nylon non poli à partir de mon fichier .STL.

Bien que la finesse des détails des pales dépasse légèrement les capacités théorique de leurs imprimante 3D, ils proposent une option permettant de passer outre ces limitations. Je l'ai choisi en croisant un peu les doigts et ne l'ai vraiment pas regretté ; l'impression était quasi-parfaite. Voici le résultat :



2- La transmission :



Le site HPC-europe, spécialisé dans la vente de pièces mécanique en tout genre, met gratuitement à la disposition de tous une bibliothèque contenant toute ses références modélisées en 3D pour tout les logiciels de CAO existant. Cela a grandement facilité mon travail de conception.

Voici la liste des pièces que j'ai utilisé pour ce montage :

- 3 vis de pression M4 (NTM4-5) dont une de rechange au cas ou je perdrais les autres
- 1 arbre de précision diamètre 10
- 2 butée à bille
- 2 coussinet diamètre intérieur 10 diamètre extérieur 16
- 5 mètres de chaîne
- 5 attaches rapides
- Des pinions à chaîne 8 12 15 18 25 32 dents

Le choix des coussinet comme guidage en rotation ne c'est fait qu'après avoir trouvé la solution de cartérisation donc je parle dans le chapitre suivant.

Comme vous pouvez le voir, j'ai prévu un grand nombre de pignon à chaîne différents. Le pignon de 8 est prévu pour être sur l'arbre de l'hélice. Les pinions 12,15,18,25 et 32 dents étaient prévu pour être placé sur l'arbre du générateur pour produire respectivement 400W,300W,200W,100W et 50W, dans le cas ou mes calculs s'avéreraient inexactes afin de pouvoir tester d'autres puissances.

A l'exception du pignon de 8 dents dont je suis parvenu à tarauder le trou de la vis de pression par moi même, le taraudage et l'alésage des autres pignon c'est avéré trop calamiteux pour que je puisse m'en charger.

Faire réaliser les usinages sur les pièces déjà en ma Possession m'aurait coûté plus chère que de racheter un autre système de pinions plus facile à usiner. J'ai donc effectué une nouvelle commande mais cette fois ci sur le site [tridistribution](http://tridistribution.com), dont les prix pour le matériel de transmission sont beaucoup plus compétitifs.

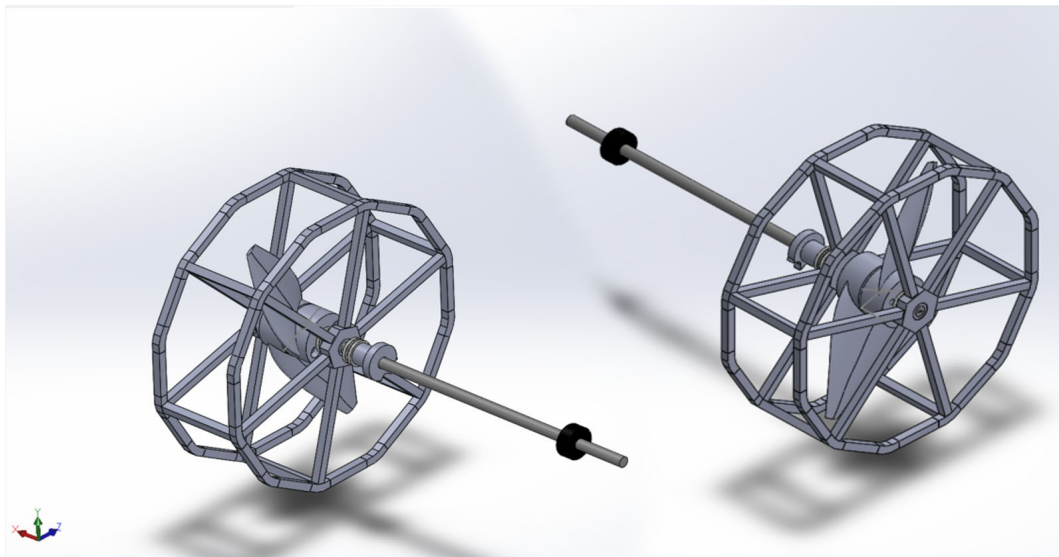
N'oubliez pas de prévoir, soit les outils pour usiner vos pièces (alésage et taraudage), soit le budget pour le faire faire. Si vous souhaitez faire usiner vos pièces de transmission, je vous conseille le site tridistribution dont les tarifs d'usinage sont beaucoup plus raisonnables que ceux de HPC ou encore de passer par le site usinage.fr.

Si vous n'avez pas fait d'erreur dans vos cotes, le montage de cette partie n'est pas plus dure qu'un montage mecano.

3- Carterisation :

Après être tombé sur les possibilités offertes par les profilés aluminium du site Alfer.com notamment en ce qui concerne le guidage en rotation et sur les prix ultra compétitif des profilés et des plaques d'aluminium du site PEVN, il m'a paru plus simple de réaliser le carter en deux parties.

Carter hélice :



Ce premier carter est destiné à recevoir l'arbre de l'hélice. J'ai choisit ces profilés initialement prévus pour la fabrication de maquette d'éolienne afin d'optimiser le guidage en rotation et limiter ainsi les pertes qui aurait pu résulter des frottement d'un défaut d'alignement. Je ne regrette pas mon choix mais j'aurais du prendre un soin particulier à la découpe des tubes carré, même si j'ai réussi à obtenir une bonne inertie.

Voici ma commande chez alfer.com :

- 4 mètres de tubes 7,5mm
- 2 connecteur d'axe
- 4 sachet de connecteur equerre 150°
- 4 sachet de connecteur jonction 150°

J'avais aussi commandé de la tôle à trou carré mais il s'est avéré que celle-ci empêchait le bon fonctionnement de l'hydrolienne en raison d'une trop grande surface de contact avec l'eau.

Les frais de port sont extrêmement élevés pour la France. Je vous conseille de vous

rapprocher d'un magasin de l'enseigne Leroy Merlin qui distribue une partie de la gamme de ce fabricant pour voire s'ils ne peuvent pas vous commander ces produits.)

Une fois que vous avez reçus toutes vos pièces et découpés vos tube d'aluminium au format voulus, il vous faudra monter le carter.

Le montage du carter alfer pour l'hélice peut s'avérer assez difficile. Quelques conseils pour que tout ce passe bien :

- Assurez vous d'avoir fait vos découpe le plus précisément possible sans quoi votre hélice risque d'avoir des difficultés à tourner ce qui compromettrait grandement le rendement de votre hydrolienne.
- Utilisez un maillet pour enfoncer les connecteurs sans trop les abîmer.
- N'hésitez pas à tailler vos connecteur afin que l'insertion dans les tubes se fasse plus simplement.
- Placez les coussinets avant de commencer le montage.
- Le PVC des connecteurs est assez flexible, n'hésitez pas à en profiter.

Carter structure :

Ce deuxième carter est destiné à recevoir le premier carter ainsi que le générateur.

Je me suis fournit sur le site pevn-boutique.com spécialisé dans le matériel de fabrication de volières. Leurs prix sur les profilés aluminium défiient toute concurrence et les matériaux semblent de bonne qualité.

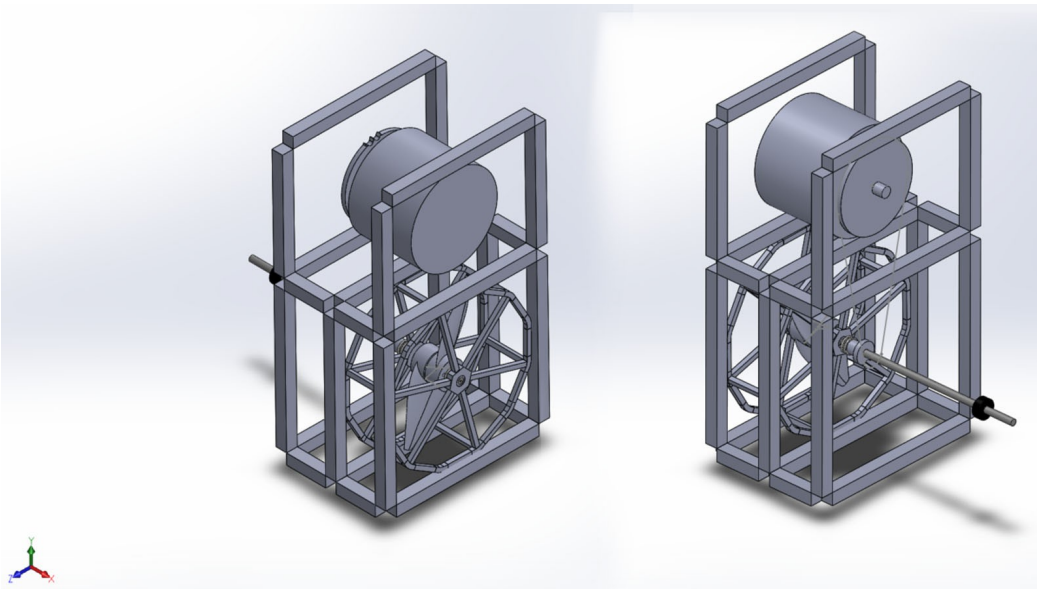
Voici ma commande chez eux :

- 8 Embout de forme 3 Dimensions.
- 8 Embout de forme 4 Dimensions.
- 6 mètres de Tubes carrés 20mm
- 2m² de Tôle aluminium 1 mm
- 28 découpes sur mesure de tubes d'aluminium

Le montage du carter principal est lui beaucoup plus simple du moment que l'on réfléchie un peu avant de se lancer. Quelques conseils :

- Ces profilés sont très difficile à démonter, alors mieux vos prévenir que guérir.
- Vérifiez au fur et à mesure du montage que le petit carter s'intègre dans le gros.
- Les connecteurs ne sont pas du tout flexible alors pensez votre ordre de montage en conséquence !
- Utilisez un maillet pour l'assemblage.

Assemblage :



Pour fixer les deux carters ensemble, j'ai utilisé des boulons de diamètre 3. Les tubes alfer de 7,5mm semble conserver toute leurs solidité une fois percés à ce diamètre.

Pour fixer le générateur sur la structure, j'ai d'abord fixé deux cales à partir des chutes de tube 0,75 dont je disposais, puis je l'ai fixé à l'aide d'un boulon et d'un écrou M8 traversant le tube d'aluminium 20mm. Même si cela semble solide je compte à terme faire une légère modification afin de le fixer aussi sur ça partie supérieure.

Voici le résultat :



Habillage :

Une fois la structure totalement montée et testée il est temps d'habiller tout ça, d'abord en ajoutant des plaques d'aluminium sur les cotés puis des grillages très fin à maille 6mm afin de protéger les poissons de l'hélice et l'hélice des poissons. Et enfin en fixant une plaque d'aluminium sous le générateur afin de protéger celui ci des éclaboussures éventuelles résultant de la rotation de l'hélice.

Étanchéité :

Viens alors l'étape cruciale du caisson étanche :

- Tout d'abord, il faut découper la plaque au dimensions voulu.
- Ensuite si comme moi vous n'avez pas de plieuse vous pouvez plier à la main en réalisant préalablement une légère rainure dans la plaque à la meuleuse afin de faciliter la pliure, puis en fixant solidement la plaque à l'aide de serre joint en prenant soin d'aligner la rainure faite avec le rebord de votre établie. Il ne vous reste plus qu'à exercer un pression sur la partie dans le vide jusqu'à obtention de l'angle souhaité et à répéter l'opération jusqu'à ce que vous ayez votre boite.



- Pour étanchéifier tout ça, je me suis servis de mat de verre et de résine polyester. J'ai appliqué deux couches à l'intérieur et à l'extérieur du caisson Mais avec le recul, je pense que j'aurais eu moins de difficultés en faisant ça à la soudure à froid en époxy.
- J'ai ensuite ajouté une couche de silicone de chaque cotés afin de renforcer l'étanchéité.

Camouflage :

Une fois le tout terminé, je me suis attelé au camouflage de l'hydrolienne en transformant le caisson étanche en rocher à l'aide de ce qu'il me resté de grillage et de béton. J'ai d'abord créé une structure en grillage autour du caisson, en lui donnant une forme naturelle, puis j'ai appliqué une couche de béton classique



Le caisson sert ainsi à la fois de cloche à air et de lest (pas loin de 20kg de béton) et permet un meilleure intégration dans le paysages. Pour l'instant il à l'air d'un gros bloc de béton mais une fois qu'il aura été colonisé par la flore locale cela devrais être convainquant.

Étant donné le poids finale de l'engin, j'ai ajouté deux poignées de fortune réalisée à l'aide d'un vieux câble jack afin de faciliter la mise à l'eau.

Voilà l'hydrolienne fin prête à prendre l'eau !

Notes finales :

Les premier test in-situ sont concluant. L'hélice semble atteindre la vitesse de rotation prévue mais pour l'instant je ne peut pas encore faire de mesure de production.

Ce prototype est extrêmement perfectible. Mon objectif à été tout le long de créer un prototype fonctionnel mais en limitant au maximum les coûts de production, quitte à être obligé de l'améliorer par la suite dans le cas où celui-ci serait fonctionnel. Voici une liste non exhaustive des améliorations qui seraient envisageables voire indispensables pour une utilisation à long terme :

- Création d'un carénage autour de l'hélice
 - Changement du mode de transmission par un système à courroie HTD
 - Installation d'un galet tendeur pour la courroie
 - Réalisation de l'hélice dans un matériau plus durable.
 - En fonction du comportement des coussinet dans le temps, il serait peut être préférable de les remplacer par des roulement étanches
 - Imaginer un système plus fiable pour étanchéfier la partie alternateur.
- Etc...

