



## Législation et clause de non-responsabilité

### Introduction

La documentation que vous vous apprêtez à lire est le fruit du travail de l'association **Hydr'Open** qui ne l'a pas diffusé (parce qu'incomplète) mais après récupération de cette documentation par **L'Atelier du Zéphyr**, au vu du nombre de conseils / réflexions et des savoirs utiles contenu dans celle-ci, il nous semblait dommage de ne pas la rendre accessible au plus grand nombre (et ce, donc malgré son inachèvement).

Donc, avec l'accord des auteur·ices et sous réserve de l'acceptation de la clause ci-dessous, vous pouvez vous instruire de cette documentation.

### Clause de non-Responsabilité

*' Art. L. 511-1 du code de l'énergie l'article L. 511-4, nul ne peut disposer de l'énergie des marées, des lacs et des cours d'eau, quel que soit leur classement, sans une concession ou une autorisation de l'État.'*

L'association **L'Atelier du Zéphyr** qui diffuse ce guide à titre informatif ni évidemment l'association **Hydr'Open** ne sauraient être tenue responsable de son utilisation.

### Responsabilité légale

L'installation d'une turbine hydroélectrique est soumise à des réglementations strictes (**Code de l'énergie, Code de l'environnement**). **L'utilisateur est seul responsable du respect des lois et de l'obtention des autorisations nécessaires** auprès des autorités compétentes, telles que la **Direction Départementale des Territoires (DDT)** et l'**Office Français de la Biodiversité (OFB)**. Il est recommandé de :

- **Vérifier les droits d'eau** applicables sur le cours d'eau concerné.
- **Consulter la DDT** pour connaître la procédure adaptée (déclaration, autorisation ou concession).
- **Réaliser une étude d'impact environnemental** si nécessaire.

### Responsabilité environnementale

L'hydroélectricité peut impacter les milieux aquatiques. **L'utilisateur doit s'assurer de limiter son impact écologique** et de respecter les obligations liées à la continuité des cours d'eau.

### Sécurité et risques techniques

L'installation et l'exploitation d'une turbine comportent des risques. **L'Atelier du Zéphyr et Hydr'Open déclinent toute responsabilité en cas d'accident, dommage matériel ou impact environnemental** découlant de l'usage des informations fournies.

En consultant ce guide, l'utilisateur reconnaît accepter cette clause de non-responsabilité.

Hugo QUILLIOU, FAYARD Vincent, Dorian SCHNEIDER, Olmo VILLEGAS, Ozgur POLAT, Paul AMRANE, Enyo PETERSCHMITT, Arthur MULLER

Du site à l'électricité

# Hydr'Open

## Document process



« Une goutte d'eau suffit pour créer un monde »  
**Gaston Bachelard**

*Ce document vise à fournir au lecteur une vision d'ensemble d'une réalisation d'un hydraulique simple en vue d'une production d'électricité à partir d'un cours d'eau grâce à un turbine. Il y trouvera le détail des méthodes à suivre autant pour la conception que pour la construction pratique.*

*Nous tenons à remercier André ANDRETA qui a été d'une aide précieuse dans la conception de la turbine et de la partie électrique. Nous remercions également Stéphane GUILLET qui a aiguillé la réalisation de ce document.*

## ***Abstract***

Le but de ce document est de décrire les principales étapes d'un projet pour l'installation d'un dispositif hydraulique en vue de produire de l'électricité (de l'ordre du kilowatt). Tout d'abord, les différents concepts et notions primordiales vont être rappelés afin de comprendre les dimensionnements et autres éléments en lien avec la construction d'une turbine de type Banki. Ensuite, les étapes de repérage d'un lieu vont être décrites afin de relever les informations nécessaires au dimensionnement hydraulique et électrique de l'installation qui va être détaillé dans un troisième temps. On retrouve par la suite la notice de construction qui est suivie de quelques conseils de prévention pour réaliser le projet. Enfin, l'ensemble des techniques nécessaire à la mise en place d'une conduite est étudié dans ce document qui se conclut par une étape de tests qui sera détaillée ultérieurement.

The purpose of this document is to describe the main stages of a project consisting of installing an hydraulic system in order to produce electricity (of the order of a kilowatt). First of all, the concepts and necessary knowledge will be recalled for the sake of understanding the sizing and other criteria regarding the construction of a Banki turbine. Then the different steps of scouting a location will be approached. The scouting has as an objective to collect the necessary data related to the sizing of the turbine and the electrical installation, the latter will be detailed later on. Following this, we will dive into the construction and give tips about how to be well prepared.

# SOMMAIRE

<i>Abstract</i>	2
<i>I - Notions primordiales</i>	6
<i>II - Repérage du lieu</i>	9
<i>A - Analyse du terrain</i>	9
<i>B - Mesures</i>	9
1 - <i>Mesure des caractéristiques principales du site (hauteur disponible, débit)</i>	9
2 - <i>Explication sur le choix du débit de dimensionnement</i>	10
<i>C - Travaux collatéraux</i>	11
<i>III - Dimensionnement spécifique</i>	11
<i>A - Dimensionnement de la conduite forcée</i>	11
1 - <i>Cas où la conduite ne peut être choisie</i>	11
2 - <i>Cas où la conduite n'est pas prédéfinie</i>	13
<i>a - Choix du matériau</i>	13
<i>b - Choix du diamètre</i>	14
<i>B - Dimensionnement de la roue</i>	15
1 - <i>Choix de la vitesse de rotation</i>	16
2 - <i>Souplesse du choix au travers de paramètres "secondaires"</i>	17
<i>a - Importance de <math>\alpha_1</math></i>	17
<i>b - Rôle des <math>\beta</math></i>	18
<i>c - Rôle de R</i>	18
3 - <i>Le dimensionnement</i>	18
<i>C - Dimensionnement de l'injecteur</i>	22
1 - <i>Choix des dimensions</i>	22
2 - <i>Dessin injecteur pour pouvoir couper sur bois après</i>	24
<i>D - Dimensionnement électrique</i>	24
1 - <i>Considération de différents types d'alternateur</i>	24
2 - <i>Dimensionnement de l'alternateur Piggott</i>	26
<i>a - Choix des aimants et du bobinage de l'alternateur</i>	26
<i>b - Dimensionnement des bobines</i>	27
<i>c - Choix du redresseur</i>	28
<i>d - Dimensionnement batteries</i>	30
<i>IV - Dimensionnement standardisé</i>	31

<b>V - Manuel de construction</b>	<b>31</b>
<b>A - La roue</b>	<b>31</b>
1 - Matériel nécessaire	31
2 - Outils nécessaires	32
3 - Construction attendue et vocabulaire	32
4 - Conception	32
5 - Construction	34
<b>B - L'injecteur</b>	<b>42</b>
1 - Matériel nécessaire	42
2 - Outils nécessaires	42
3 - Construction attendue et vocabulaire	42
4 - Conception	42
5 - Construction	42
<b>C - Transmission</b>	<b>48</b>
1 - Conception	50
2 - Construction	50
3 - Solution que nous avons déjà réalisée	51
<b>D - Structure et assemblage final</b>	<b>52</b>
1 - Matériel nécessaire	52
2 - Outils nécessaires	53
3 - Conception	53
4 - Construction	54
<b>VI - Plan de prévention</b>	<b>64</b>
<b>A - Les EPI</b>	<b>65</b>
1 - Protection de la tête	65
2 - Protection des mains	65
3 - Protection des pieds et des jambes	65
4 - Protection du buste	66
5 - Protections spécifiques	66
<b>B - Mesures de prévention</b>	<b>66</b>
<b>VII - Mise en place de la conduite</b>	<b>66</b>
<b>A - Réalisation en pratique</b>	<b>67</b>
<b>B - Techniques intéressantes pour un travail durable, propre et en sécurité</b>	<b>69</b>
1 - Collage des tubes PVC	69
2 - Perforateur-burineur	69
3 - Soudure à l'arc	69
4 - Meuleuse d'angle/disqueuse	70
5 - Exemple pour le choix des vis et chevilles	71

6 - Utilisation des angles	71
7 - Schéma de la plaque	71
<b>VIII - Tests</b>	<b>71</b>
A - Test turbine préalable	72
B - Test électrique	73
1 - Faire une liste de matériel nécessaire pour faire le test	73
2 - Choisir la charge en fonction des besoins du test	73
3 - Détailler le protocole de test en charge avec des schémas	73
C - Test final	73
<b>IX - Installation</b>	<b>73</b>
<b>X - Annexe</b>	<b>73</b>
Annexe 1: Tutoriel utilisation logiciel de simulation OpenAFPM	74
<b>XI - Contacts</b>	<b>77</b>
<b>XII - Bibliographie</b>	<b>78</b>

## ***I - Notions primordiales***

Nous allons d'abord avec plusieurs définitions et concepts de base d'hydraulique et d'écoulement en charge.

### ***Charge hydraulique***

La charge représente l'énergie contenu dans un fluide (ici l'eau). On l'exprime souvent en hauteur d'eau (homogène à une longueur) en divisant par la masse volumique du fluide multiplié par l'accélération de pesanteur.

Elle s'écrit :

$$H = \frac{v^2}{2 * g} + z + \frac{P}{\rho * g}$$

Le premier terme dépend de la vitesse  $v$  du fluide, le second de son altitude et le troisième de la pression du fluide. La charge est donc l'addition de l'énergie cinétique, potentielle et de pression du fluide à un point donné.

### ***Perte de charge***

Dans toute installation hydraulique, il y a toujours des pertes de charge, c'est-à-dire des pertes d'énergie. Elles sont dues aux frottements entre l'eau et les parois des conduites par exemple ou aux singularités. Une singularité correspond à un obstacle ponctuel à l'écoulement de l'eau.

### ***Puissance hydraulique***

A partir d'une chute d'eau, on peut calculer l'énergie hydraulique de cette chute avec la formule :

$$P = \rho * g * Q * H$$

Avec  $Q$  le débit en  $m^3/s$  et  $H$  la hauteur d'eau. La hauteur de la chute se calcule du niveau d'eau du bassin amont moins le niveau de l'injecteur. On utilise le poids volumique du fluide concerné.

### ***Puissance électrique en continue***

Connaissant la tension continue et le courant circulant dans un dispositif électrique, on peut alors déterminer la puissance électrique:

$$P = U \times I$$

### ***Écoulement en charge***

Pour utiliser pleinement l'énergie hydraulique d'une chute, il faut que la conduite qui achemine l'eau à la turbine soit en charge, c'est-à-dire que la conduite d'eau soit remplie complètement.

### ***Turbine***

Une turbine est un dispositif qui transforme l'énergie d'un liquide ou d'un gaz en énergie mécanique. Des aubes sont entraînées et font tourner un arbre. Il existe plusieurs types de turbines.

Ici, il s'agit de turbine Banki, utilisée pour les petites installations notamment. Toute turbine a un rendement, en effet elle ne peut convertir totalement l'énergie hydraulique en énergie mécanique.



Figure 1 : Turbine Banki construite par l'association

### **Générateur**

Le générateur est un dispositif qui permet de convertir de l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique. Ce document traitera principalement de l'alternateur PIGGOTT.

### **Rendements (puissance électrique etc)**

Le rendement d'une installation est déterminé en calculant le rapport de l'énergie produite (l'énergie électrique dans notre cas), sur l'énergie disponible en théorie (l'énergie hydraulique).

Dans une telle installation, il suffit de multiplier les rendements des différents dispositifs, le rendement de l'installation hydraulique et de l'installation électrique.

### **Aimants permanents**

C'est un objet fabriqué en matériau magnétique dur tel qu'en ferrite ou encore en néodyme générant un champ magnétique tout autour de lui.

### **Loi de Lenz**

La variation d'un champ magnétique variable ou permanent dans un circuit électrique entraîne l'apparition d'un courant induit et d'une force électromagnétique, c'est la loi de Lenz.

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

### **Source triphasé**

Un système triphasé est composé de trois courants sinusoïdaux qui sont déphasés de  $2\pi/3$  dans le cas idéal. Ainsi, à la différence d'un système continue, trois fils sortent du dispositif dans un état dit alternatif.

### **Pertes Joules**

Lorsqu'un courant électrique circule dans un fil, celui-ci va créer un dégagement de chaleur proportionnel au courant au carré qu'on appelle effet Joule. La puissance perdue s'exprime par :

$$P = R \times I^2$$

Avec R, la résistance électrique en  $\Omega$  et I le courant électrique.

### ***Electronique de puissance***

C'est un ensemble de dispositif qui permet d'adapter les caractéristiques électriques selon ses besoins, c'est-à-dire passer d'un état continue à un état alternatif ou encore modifier l'amplitude d'une tension.

## **II - Repérage du lieu**

### **A - Analyse du terrain**

La première chose à faire pour préparer le projet est l'analyse du terrain et de l'emplacement. Il faut aussi identifier les emplacements des dispositifs (où pourra être positionner la turbine par exemple). Il faut aussi chercher dans quelles conditions de travail le projet pourra se faire.

Par exemple, l'association a travaillé sur un site nommé Izeron par le passé. Là-bas, la mise en charge de la conduite prenait du temps. Le stockage d'eau était éloigné de la zone et il mettait du temps à se remplir/vider. Ceci peut poser problème si on veut être réactif sur les tests de l'installation en particulier. Sur ce site en particulier, la hauteur d'eau élevée dans le puits a causé la rupture de la conduite à cause de la surpression. Il faut donc un moyen de contrôler la source d'eau à distance pour être le plus rapide possible.

Sur un autre site nommé Hières-sur-Amby, la hauteur d'eau était plus faible, mais le débit était continu, le stockage plus proche de la turbine et détourner temporairement le cours d'eau était possible. Ces caractéristiques rendent les travaux sur ce site plus simple et sécuritaire.

Il faut donc au maximum anticiper les possibles contraintes liées au site, chercher la place nécessaire pour le dispositif (turbine, conduite, générateur, matériel électrique...). Il faut également prendre en compte le transport du matériel qui peut être volumineux ou lourd.

Il est également possible que des travaux soient à effectuer sur le site. Dans ce cas-là, un inventaire du matériel et des outils présent sur place peut aider (à Hière sur Amby, le propriétaire pouvait nous prêter son matériel). Sinon l'achat du matériel nécessaire s'impose. Mais il est important de s'y prendre à l'avance, afin de ne pas bloquer dans une étape à cause du manque de matériel.

### **B - Mesures**

#### **1 - Mesure des caractéristiques principales du site (hauteur disponible, débit)**

Il faut prendre le maximum de mesure, pour dimensionner la turbines et les autres éléments du dispositif. Il faut mesurer le débit et la hauteur d'eau entre le bassin de stockage de l'eau et l'endroit où sera mise la turbine, afin d'estimer la puissance hydraulique de la chute.

Il peut être compliqué de calculer certains paramètres. Il ne faut pas hésiter à demander au propriétaire du terrain des données. Il connaîtra mieux les variations saisonnières et des valeurs moyennes.

Pour mesurer le débit, plusieurs méthodes s'offrent à vous :

- la présence d'un déversoir peut permettre de le calculer sur le site grâce à la formule suivante :

$$Q = mL\sqrt{2gh^3}$$

$$m = 0.4$$

L est la largeur du déversoir

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$  la constante gravitationnelle

h l'épaisseur de la lamelle d'eau qui passe par dessus le réservoir

Un déversoir est un obstacle perpendiculaire à l'écoulement :

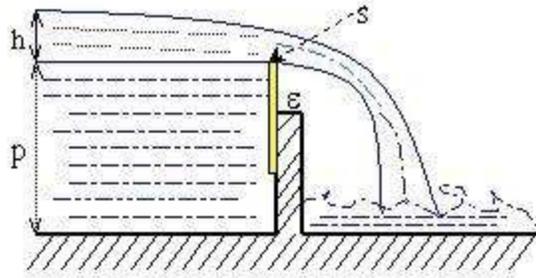


Figure 2 : Déversoir au droit de l'écoulement

- Une autre méthode correspond à mesurer la vitesse de l'eau en surface et de mesurer l'aire de la section d'écoulement

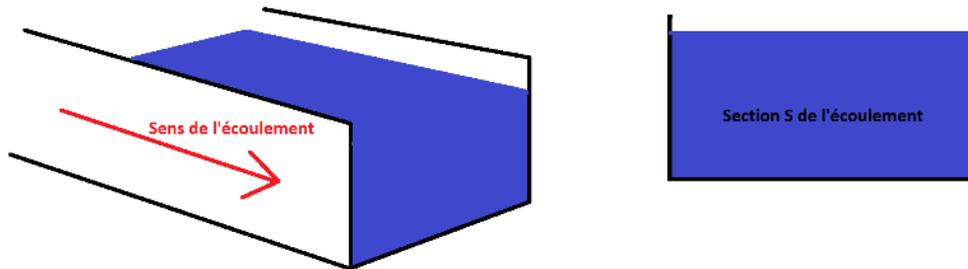


Figure 3 : Représentation d'une section d'écoulement pour un canal rectangulaire

Pour mesurer la vitesse d'eau de surface, il suffit de faire flotter un objet et de voir à quelle vitesse il se déplace. Connaissant ces vitesse et aire, on calcule le débit avec la formule suivante :

$$Q = \frac{2}{3}V * S$$

Il est important de prendre en compte le fait que ces deux méthodes ne sont pas très précises, surtout la seconde. Cependant, elles permettent tout de même d'avoir un ordre de grandeur. Ces mesures permettent de déterminer un débit de fonctionnement pour le dispositif et donc de passer au dimensionnement du dispositif (taille de la turbine, diamètre de la conduite...).

En plus de ces mesures de débit, il sera important de mesurer les distances entre le stockage de l'eau et là où vous placerez la turbine. Cela permettra d'estimer également la longueur de conduite à acheter et mettre en place, ainsi que les éventuelles coudes à ajouter.

## **2 - Explication sur le choix du débit de dimensionnement**

Ce débit de dimensionnement est très important parce qu'il correspondra aux conditions optimales de fonctionnement de votre installation. Lorsque le débit réel s'écartera de cette valeur, l'installation perdra en efficacité.

Il convient donc de choisir un débit qui va la plupart du temps alimenté la turbine. Cela dépend des valeurs de débits que vous aurez trouvé. Mais aussi et surtout des exigences du client, un client qui pourrait souhaiter faire fonctionner l'installation en hiver par exemple, période où les débits sont les plus forts.

Il faut prendre en compte les variations du débit en fonction de la saison. En effet, plus le débit de dimensionnement est grand, moins le dispositif fonctionnera sur une année. Lorsque le débit du cours d'eau est trop inférieur par rapport au débit de dimensionnement, la conduite risque de ne plus être en charge et donc le dispositif ne produit plus d'électricité.

Pour illustrer ce type de réflexion, nous allons présenter le cas qui a eu lieu à Hières-Sur-Amby. Le débit sur le site en question variait beaucoup au cours de l'année, de 10 L/s en été à 40 L/s en hiver. Cependant, le client sur site ne voulait faire fonctionner la turbine que durant l'hiver, période où les dépenses électriques sont les plus grandes (chauffage et éclairage accrus).

Le fait de savoir que la turbine ne tournerait qu'en hiver nous a permis de choisir un débit de dimensionnement plus élevé que si nous devions dimensionner pour l'été. Cet exemple souligne l'importance de savoir quand est-ce que la turbine est prévue pour fonctionner. Un fonctionnement uniquement en été nous poussera à choisir un débit de plus faible qu'un fonctionnement en hiver.

### ***C - Travaux collatéraux***

En plus des travaux strictement liés à la construction de la turbine, il se peut que le site d'implantation nécessite des travaux pour le rendre utilisable. Ces travaux sont spécifiques au site et dépendent de la solution choisie.

Dans le cas du projet de Hière sur Amby, il a été décidé de mettre en place un déversoir afin d'alimenter la conduite qui achemine l'eau à la turbine. Le but de ce déversoir était d'assurer une mise en charge de la conduite tout en contrôlant la hauteur de chute en entrée.

D'autres travaux peuvent être envisagés également, s'il y a un obstacle par exemple. C'était le cas de ce site, où une ancienne roue de moulin était à l'emplacement futur de la turbine.

## ***III - Dimensionnement spécifique***

### ***A - Dimensionnement de la conduite forcée***

Afin d'amener l'eau de la zone de stockage à la turbine en contrebas, il faudra la faire passer dans une conduite d'amenée d'eau. On distingue maintenant deux cas, selon si vous avez ou non la possibilité de la choisir.

#### ***1 - Cas où la conduite ne peut être choisie***

Cette situation intervient quand il y a déjà une conduite en place que vous ne voulez ou ne pouvez pas la changer, ou encore quand vous n'en avez qu'une à votre disposition. Dans ce cas, la seule chose à faire est de calculer les pertes de charges.

Dans la première feuille "dimensionnement conduite forcée", remplir les case Q (le débit de dimensionnement choisi précédemment), hauteur de chute et la longueur de conduite dans la section "**Grandeurs données**". (Pour 'L', vous pouvez simplifier et ne donner qu'une longueur approximative surestimée).

Les unités de ces grandeurs sont très importantes :

- $Q$  en  $m^3 \cdot s^{-1}$
- Hauteur de chute en  $m$
- Longueur de conduite en  $m$

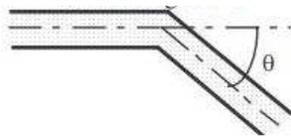
Grandeurs données				
Q (m <sup>3</sup> /s)	0.03		k (μm)	15
Hauteur de chute (m)	5		a (m/s)	500
L (m)	17			

En plus de ces trois paramètres précédents, il faut aussi renseigner  $k$  (en  $\mu m$ ) la rugosité de la conduite, qui caractérise l'intensité des frottements aux parois dans la conduite. Sa valeur dépend du matériau en lequel est fait la conduite et de son état d'usure.

Référez-vous au tableau ci-dessous pour la valeur de la rugosité pour les matériaux communs de conduite.

Coefficient $k$ (μm) selon le matériau			
PVC	15	Fonte neuve	250-800
Acier (inox / normal / rouillé)	15 / 90 / 100-1000	Fonte usagée	800-1500

Maintenant, il s'agit de noter le nombre de coudes et le type de ces coudes, c'est-à-dire leur angle. Un coude correspond à un changement de direction de la conduite comme sur ce schéma :



Remplissez le tableau suivant pour que le calcul des pertes de charges associées à ces coudes puissent se faire :

Angle du coude	Nombre de coudes
22.3°	0
30°	0
45°	0
60°	1
67.3°	0

Finalement, il ne reste plus qu'à rentrer la valeur du diamètre de votre conduite dans la case "Diamètre de conduite retenu" et vous verrez les pertes de charge dans la case "Pertes de charges totales" :

Choix du diamètre	
Pertes de charge conseiller : 5% de la charge (mCE)	0.25
Diamètre de conduite retenu (mm)	160
Epaisseur de conduite (mm)	3
Pertes de charges totales (mCE)	0.24

Vous pourrez aussi comparer à la valeur maximale préconisée en pratique de 5% de la hauteur de chute disponible.

Connaissant ces pertes de charge, il vous suffit de les soustraire à la hauteur de chute disponible pour obtenir la hauteur de chute exploitable pour laquelle il faudra dimensionner la turbine.

## 2 - Cas où la conduite n'est pas prédéfinie

### a - Choix du matériau

Dans un premier temps, il s'agit de choisir un matériau pour la conduite forcée.

Le matériau choisi est principalement conditionné par les pressions maximales que doit supporter la conduite. Cette pression maximale dépend de la hauteur de chute à laquelle s'ajoute une pression dite de coup de bélier en cas de fermeture rapide de la vanne proche de la turbine. (*Cette valeur de pression maximale est donnée sans avoir à mettre la valeur de rugosité 'k' du matériau choisi.*)

Dans la première feuille "dimensionnement conduite forcée", remplir les case Q (le débit de dimensionnement choisi précédemment), hauteur de chute et la longueur de conduite dans la section "**Grandeurs données**". (*Pour 'L', vous pouvez simplifier et ne donnez qu'une longueur approximative surestimée.*)

Grandeurs données			
Q (m3/s)	0,03	k (mm)	
Hauteur de chute (m)	5	a (m/s)	500
L (m)	17		

Dans la section "**Vérification**", sont données les pressions (en mètres colonne d'eau). La pression maximale est donnée par "la charge totale en surpression".

Vérification	
Vitesse d'écoulement de l'eau (m/s)	1,49
Charge d'ajout coup de belier instantannée (mCE)	2,6
Charge totale en surpression (mCE)	7,6

Il faut vérifier que la "Contrainte maximale en surpression" ne soit pas supérieure à la résistance du matériau choisi. Pour cela comparer au "Module d'Young" du matériau que vous trouverez en-dessous

Contraintes max en surpression dans la conduite (formule chaudronniers) (MPa)			1.98
Différents module d'Young selon le matériau (MPa)			
PVC	3500	Acier normal	210000
Minimum pour la fonte	83000	Acier inox	203000

Le choix du matériau peut débiter. Il s'agit de prendre en compte le matériau possiblement déjà disponible, le coût du matériau, sa résistance et sa facilité de pose (besoin de soudure compliqué?, des branchements faciles ?...). Pour les ordres de grandeurs des chutes que nous utilisons (moins de 50m et faibles débits), il est fortement conseillé de poser en **PVC**. Le PVC est facile à poser, et est à un coût abordable.

### *b - Choix du diamètre*

Connaissant le matériau de la conduite, il faut s'intéresser au choix du diamètre de la conduite. Ce choix imposera les pertes de charges. Pour de nombreuses raisons (économiques, de faisabilité...), les conduites forcées sont généralement dimensionnées pour générer une perte de charge de 5% de la hauteur de chute.

*Exemple : On a une chute de 10m, on dimensionne alors la conduite pour 0,5 m de pertes de charge.*

Le matériau a été choisi dans la partie précédente. On en déduit son coefficient de rugosité "k" qu'il suffit d'ajouter aux "**Grandeurs données**".

<b>Grandeurs données</b>			
Q (m3/s)	0.03	k (µm)	15
Hauteur de chute (m)	5	a (m/s)	500
L (m)	17		

Il s'agit ensuite de choisir un diamètre de conduite disponible sur le marché et générant des pertes de charges totales (linéaire + coudes) proches des pertes conseillé.

<b>Choix du diamètre</b>	
Pertes de charge conseiller : 5% de la charge (mCE)	0.25
Diamètre de conduite retenu (mm)	160
Epaisseur de conduite (mm)	3

Les pertes de charges linéaires générées sur toute la longueur et celle liée au pertes aux coudes sont données par le tableau (en fonction du diamètre)

Pertes de charges régulières			Pertes de charges coudes brusques					
Diamètre (mm)	Lambda	Pertes de charges régulières (mCE)	k	0.0677	0.1083	0.2462	0.4620	0.5952
			Angle (°)	22.3	30	45	60	67.3
50	0.0194	78.51	Pertes de charges singulières (mCE)	0.81	1.29	2.93	5.50	7.08
60	0.0187	30.36		0.39	0.62	1.41	2.65	3.42
70	0.0181	13.61		0.21	0.34	0.76	1.43	1.84
80	0.0176	6.79		0.12	0.20	0.45	0.84	1.08
90	0.0172	3.68		0.08	0.12	0.28	0.52	0.67
100	0.0168	2.13		0.05	0.08	0.18	0.34	0.44
110	0.0165	1.30		0.03	0.06	0.13	0.23	0.30
120	0.0162	0.83		0.02	0.04	0.09	0.17	0.21
130	0.0160	0.54		0.02	0.03	0.06	0.12	0.15
140	0.0158	0.37		0.01	0.02	0.05	0.09	0.12
150	0.0156	0.26		0.01	0.02	0.04	0.07	0.09
160	0.0154	0.19		0.01	0.01	0.03	0.05	0.07
170	0.0152	0.14		0.01	0.01	0.02	0.04	0.05
180	0.0150	0.10		0.00	0.01	0.02	0.03	0.04
190	0.0149	0.08		0.00	0.01	0.01	0.03	0.03
200	0.0147	0.06		0.00	0.01	0.01	0.02	0.03
210	0.0146	0.05		0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
220	0.0145	0.04		0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
230	0.0144	0.03		0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
240	0.0143	0.02		0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
250	0.0142	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	

### A vous de jouer !

PS: Choisissez un diamètre permettant des pertes de **charges linéaires** légèrement inférieures à celle conseillée. Puis ajoutez les pertes liées aux coudes et vérifiez qu'on respecte la valeur de perte de charge conseillée. Un peu d'intuition et plusieurs essais, et vous trouverez.

Une fois le diamètre de la conduite choisi, il est temps de vérifier la justesse de ce choix.

Revérifiez toutes vos données, toutes vos entrées, de données, les résultats du tableur.

- respect des pertes de charges
- existence du diamètre sur le marché (pour les conduites linéaires et pour les coudes)
- résistance de la conduite à la surpression

### B - Dimensionnement de la roue

Le dimensionnement de la roue est dépendant de nombreux paramètres, des paramètres souhaités et des contraintes. C'est une partie difficile qui va vous nécessiter une grande concentration j'en ai bien peur.

Le but de cette partie est de définir avec précision:

- le rayon intérieur et extérieur de la roue
- de nombreux angles
- le rayon de courbure des aubes

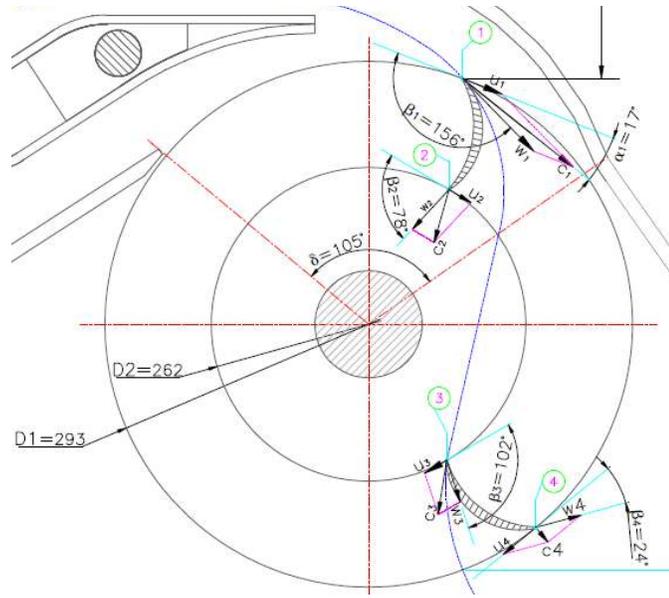


Figure 4 : Schéma d'un écoulement dans la turbine

A noter qu'il n'y a pas qu'une seule réponse ou vérité à tout ces paramètres, mais qu'il faudra faire des choix. Ces choix seront éclairés par les nombreuses études déjà effectués sur la turbine banki. Certains angles et de nombreux rapports de variables seront soit définis, ou devront être compris dans certaines fourchettes conseillées.

Pour éviter de compliquer cette partie, nous choisissons une direction d'explications qui commence par la vitesse de rotation voulue. Cela est déjà bien suffisant.

### 1 - Choix de la vitesse de rotation

Le choix de vitesse de rotation est très important. Sans rentrer dans les détails, elle dépend particulièrement des caractéristiques du générateur/multiplicateur mis en place pour la conversion électromécanique.

En effet, les alternateurs ont des vitesses de rotation privilégiées qui optimise le rendement. En s'éloignant de ses valeurs, le rendement diminue évidemment mais on prend le risque de compromettre l'intégrité de la structure (surtout à grandes vitesses).

Il faut savoir, que pour le débit nominal choisi et tous débits supérieurs, la turbine tournera à la vitesse de rotation choisie (à peu de chose près).

Le choix de vitesse de rotation est fait soit pour se caler directement sur la vitesse nécessaire en conversion, soit sur une autre vitesse (généralement plus faible). Le second cas correspond typiquement à l'utilisation d'un alternateur de voiture/camion qui nécessite une très grande vitesse de rotation et donc une multiplication de vitesse.

En gardant tous les autres paramètres fixes, la vitesse de rotation modifie le rayon.

C'est pourquoi en plus d'être important pour la partie électrique, la vitesse de rotation contrôle les dimensions de la roue et donc sa difficulté d'usinage. Une roue trop petite sera difficile à fabriquer avec précision et une roue trop grande posera problème d'un point de vue installation sur site et structure de soutien de la turbine.

Se référer au **“III - D Dimensionnement électrique”** pour faire le bon choix de vitesse de rotation adaptée à votre cas.

Nous considérerons un alternateur qui nécessite 500 tr/min pour la suite. Cela permettra de rendre les explications moins abstraites, sans pour autant qu’elles ne soient pas adaptables pour d’autres vitesses de rotation.

## 2 - Souplesse du choix au travers de paramètres “secondaires”

Bien que la vitesse de rotation permet de jouer sur les dimensions comme dit précédemment, nous pouvons toucher à d’autres paramètres “secondaires” .

Les paramètres que nous allons évoquer sont considérés comme “secondaires”, car ils ne sont pas directement liés à des caractéristiques du site ou à d’autres parties du dimensionnement (conduite, électrique).

Voici les paramètres secondaires que l’on considère :

- $\alpha_1$  correspond à l’angle d’entrée d’écoulement de l’eau dans la roue
- $\beta_1$  angle relatif écoulement entrée 1
- $\beta_2$  angle relatif écoulement sortie 1
- $R_{int}$  le rayon intérieur de la roue
- R le rayon de courbure de l’aubage

### a - Importance de $\alpha_1$

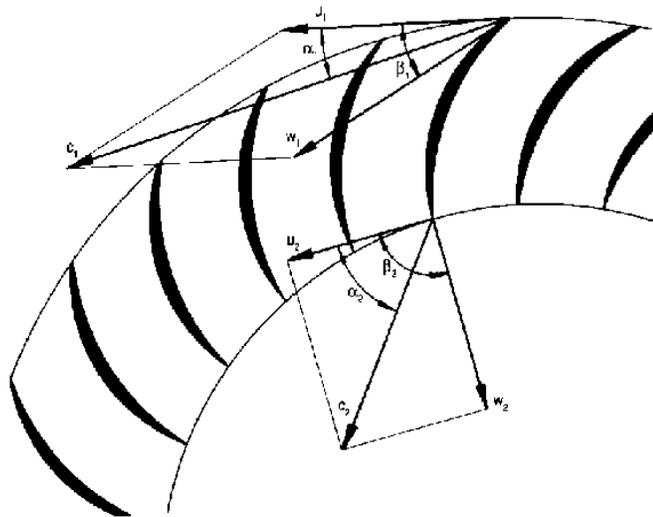


Figure 5 : Présentation des différents angles théoriques

$\alpha_1$  correspond à l’angle d’entrée d’une ligne d’eau dans la turbine.

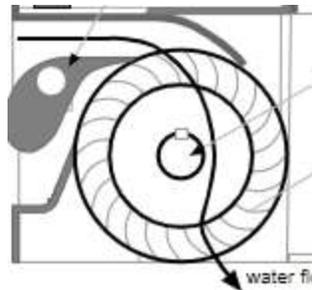
$\alpha_1$  conditionne le rendement hydraulique maximale que peut avoir la turbine d'après la formule suivante :  $\eta_{max} = \cos(\alpha_1)^2$ . Quand  $\alpha_1$  tend vers 0, ce rendement tend vers 100%. Cependant, prendre cette angle nul revient à ne pas avoir d'eau qui rentre dans la roue par les pâles. On évitera donc de le prendre trop petit.

En pratique, la valeur retenu est de l'ordre de  $\alpha_1 = 17^\circ$  ce qui donne une entrée acceptable d'eau et un plafond pour le rendement de 91%. Contrairement aux autres paramètres secondaires, **on choisira de ne pas toucher à  $\alpha_1 = 17^\circ$** . Ce choix est éclairé par toutes les études sur ce type de turbine.

### ***b - Rôle des $\beta\beta$***

Ces angles définissent la déviation des lignes d'eau dans la roue. Leurs choix restent assez ouverts. Ils seront choisis en fonction du rayon de courbure R de l'aubage voulu et des autres rayons.

Il est important de ne pas faire passer les lignes d'eau trop proche de centre de la roue (l'axe) ou trop éloigné de celle-ci. C'est pour cela que ces angles devront être compris dans des fourchettes.



### ***c - Rôle de R***

Le rayon de courbure R est le rayon du tube qui sera utilisé pour la construction des aubes. Il faudra choisir ce R en fonction des tubes qui seront disponibles.

Mais le rayon dépend des autres paramètres de la roue. Il faudra adapter les angles  $\beta$  pour tomber sur un R voulu, sachant que les valeurs de rayon possibles dépendent de ce que vous avez à votre disposition pour faire les pâles. Il convient donc dans un premier temps de regarder ce qui est à votre disposition en termes de diamètres de tuyau pour les pâles.

Sachant quels diamètres de tuyaux sont disponibles, vous pouvez savoir quelles valeurs d'angles vous sont accessibles.

## ***3 - Le dimensionnement***

*Nous partons donc de la vitesse de rotation. Dans le tableau représenté ci-dessus, veuillez entrer la valeur voulue (en tour/min).*

### Données d'entrée

Vitesse de rotation	tour/min		500
Hauteur d'eau	m	H	5
Débit	m <sup>3</sup> /s	Q	0.03
Accélération pesanteur	m/s <sup>2</sup>	g	9.81
Angle alpha 1	°	α1	17
Angle bêta 2	°	β2	87.5
Perte de charge conduite		c	0.95
Frottement aubages		ψ	0.95
Diamètre extérieur du rotor	m	D1	0.18
Coefficient d'obstruction des pales voulu		k	0.075
Epaisseur des pales	m	e	0.0035
Arc d'alimentation	°	δ	40

D'autres variables peuvent être modifiées. Toutes les cases vertes sont des cases où l'on peut modifier la valeur inscrite. Il est conseillé de ne pas modifier les valeurs pour le moment.

*Astuce: Si vous voulez un diamètre extérieur du rotor précis et que vous êtes flexibles sur la vitesse de rotation, vous pouvez modifier la vitesse de rotation jusqu'à obtenir le diamètre extérieur voulu. Le diamètre est inversement proportionnel à la vitesse de rotation.*

Ne touchez pas au coefficient d'obstruction des pâles sans être expert.

Si vous connaissez déjà l'épaisseur des tubes que vous utiliserez pour les pâles, vous pouvez déjà l'insérer en mètre. Les valeurs courantes sont de l'ordre de 3-4 mm.  
Pour l'arc d'alimentation, vous y toucherez lors du dimensionnement injecteur. N'y touchez pas pour le moment.

Vous trouverez juste en dessous un tableau. Il vous donne le rendement théorique (maximal) et un recalcul de la vitesse de rotation. Si cette vitesse ne vous convient pas, n'hésitez pas à ajuster la vitesse de rotation entrée dans la partie "**Données d'entrées**".

### Caractéristique globale

			maxi
Rendement maximum		η	0.80
vitesse de rotation	rpm	N	487.34
Débit disponible	m <sup>3</sup> /s	Q	0.034
Puissance brute	kW	Pbrut	1.67
Puissance nette	kW	Pnet	1.35

Les dimensions de la turbine sont explicitées dans le tableau ci-dessous :

### **Dimensionnement rotor**

Diamètre intérieur	m	D2	0.116
Rapport des diamètres		x	0.6726
Angle alpha 2	°	$\alpha_2$	53.5
Nombre de pales		n	21.85
Nombre de pales avec épaisseur			19.00
Longueur rotor cas 1	m	L	0.253
Longueur rotor cas 2	m	L	0.229

Ne vous préoccupez pas pour le moment des longueurs de pales. Ceci viendra dans la partie de dimensionnement de l'injecteur.

Vous avez maintenant le diamètre extérieur et intérieur de la roue. Vérifiez que le rapport des diamètres soit compris entre 0.63 et 0.75.

Ce tableau donne également le nombre de pôle que contiendra la turbine. Ce nombre pourra être légèrement modifié si il est difficile techniquement de le respecter.

### **Dimensionnement pales**

Hauteur radiale des pales	m	a	0.028
Espacement intérieur entre pales	m	s2	0.018
Espacement extérieur entre pales	m	t	0.026
Rayon de courbure des pales	m	p	0.02859
Coefficient d'obstruction des pales calculé		k'	0.11654
Angle de courbure des pales	°	$\phi$	71.08

Important ! Vérifiez le rayon de courbure des pales. Il est donné en mètre, donc multipliez par 1000 pour obtenir le diamètre en mm. Ici par exemple, il nous faudra pour la construction des pales, des tubes de 57 mm de diamètre. Une valeur très proche et courante comme le 60 mm fera l'affaire. Donc n'hésitez pas à modifier légèrement l'angle  $\beta_2$  en données d'entrée ( $\beta_2$  compris entre 85° et 92°), pour trouver un diamètre convenable.

Un tableau récapitulatif de cette partie (attention aux dimensions ici en cm et mm):

## Infos partie turbine

Vitesse de rotation	tr/min		500.99
Diamètre extérieur du rotor	cm	D1	16.74
Diamètre intérieur	cm	D2	11.26
Angle alpha 1	°	$\alpha 1$	17
Angle beta 2	°	$\beta 2$	87.5
Angle beta 1	°	$\beta 1$	31.44
Nombre de pales avec épaisseur			17.00
Diamètre tuyau pour les pales	mm	D	5.6

Les paramètres surlignés en vert peuvent être modifiés. Pour la suite, se référer à la partie construction.

La largeur de la turbine sera donnée dans la partie qui suit, celle du dimensionnement de l'injecteur. Elle devra être 20 % plus grande que la largeur de l'injecteur.

## C - Dimensionnement de l'injecteur

### 1 - Choix des dimensions

Le dimensionnement de l'injecteur dépend principalement du débit nominal et du diamètre de la roue trouvé précédemment.

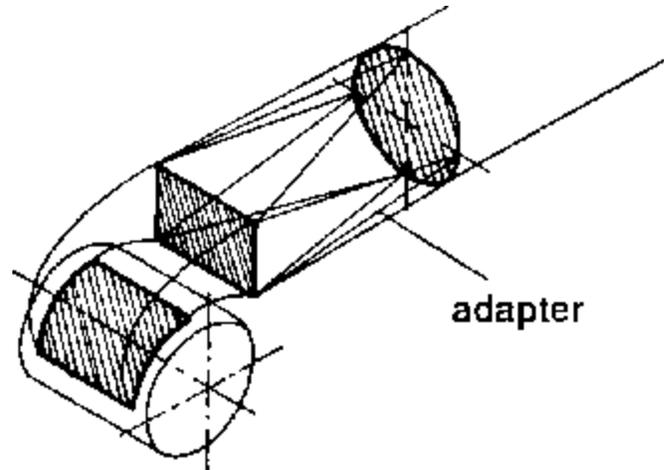


Figure 7 : Schématisation de l'injecteur

Le but de cette partie sera de choisir les paramètres:

- $L$ , largeur de l'injecteur (de l'admission d'eau)
- $\delta$ , angle d'admission
- Longueur de l'injecteur
- Le tracé général de l'injecteur

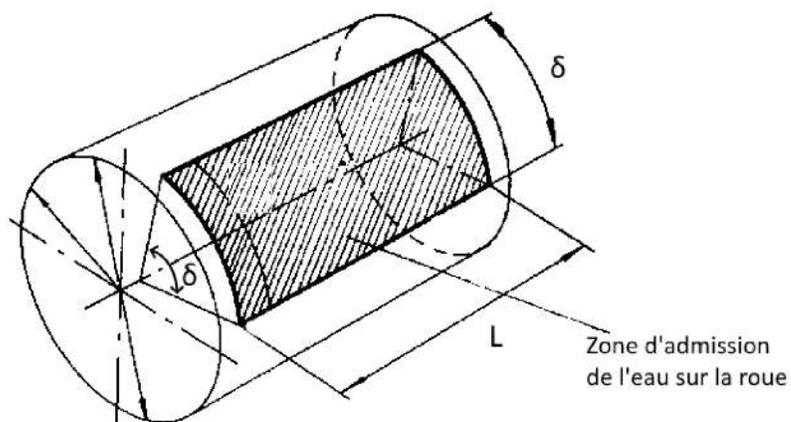


Figure 8 : Zone d'admission de la roue

Cette partie donnera un tracé latéral de l'injecteur (sans l'adaptateur) avec la roue en bleue, du type :

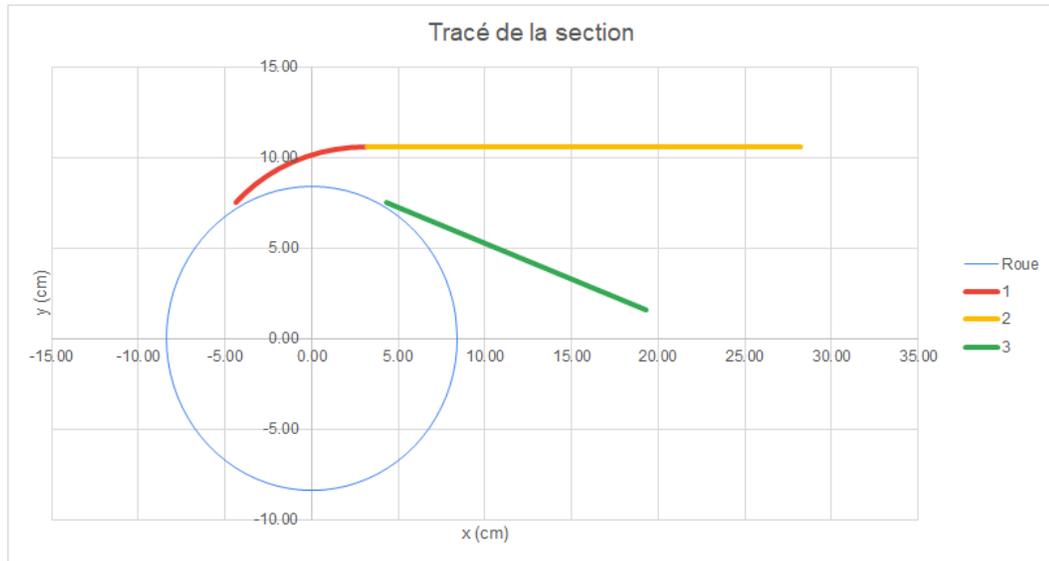


Figure 9 : Tracé de la section sur un tableur

Avec des tableaux contenant les coordonnées (x,y) de chaque point qui a permis de tracer le graphe ci-dessus.

Cette feuille réutilise les valeurs trouvées dans la feuille de dimensionnement de la roue.

<b>Récapitulatif des valeurs</b>			
Q (m3/s)	0.03	<b>Angles prédéfinis (degré; rad)</b>	
		$\alpha_1 = 17^\circ$ (rd)	17 0.297
		$\delta = [40^\circ; 60^\circ]$ (rd)	60.0 1.047
<b>Pour une vitesse de rotation w choisie</b>		<b>Dimensions injecteur</b>	
R1 (cm)	8.369	Longeur injecteur (cm)	25
L (cm)	15.7	Largeur (cm)	15.7
Rapport R1/L	0.5	Jeu paroi-turbine (cm)	0.3
longueur tube pour les pales (cm)	18.9		

Dans cette partie, il s'agit de choisir  $\delta$  entre  $40^\circ$  et  $60^\circ$  pour obtenir un rapport R1/L compris entre 0.3 et 1.5. Cette valeur  $\delta$  influe directement sur la largeur d'injection.

Sachez que la longueur des pales de la roue (donc des tubes utilisés pour les pales) est faite 20% plus longues que la largeur d'injection. Donc si une longueur de tube pour les pales vous arrange, faites en sorte d'avoir cette bonne longueur.

### Tracé latéral de l'injecteur

Choisissez une longueur d'injecteur suffisamment grande pour avoir un tracé visuellement parlant.

Il est important de prendre en compte le jeu paroi de l'injecteur-turbine. Ce jeu dépend principalement de la qualité et des dimensions de la construction de la turbine ET du système d'axe/roulement à bille. Plus la qualité est grande, plus petit sera ce jeu. On vous conseille de prendre entre 0,5 et 1,5 cm, selon le soin.

Le tracé se forme et permet d'obtenir la partie d'admission de l'injecteur. La partie dite 'adaptateur' qui permet de relier cette zone d'admission à la conduite, est à prévoir dans la partie construction.

## **2 - Dessin injecteur pour pouvoir couper sur bois après**

Logiciel pour modélisation 3D (CATIA/solid works) ou 2D (geogebra/AUTOCAD, au crayon de papier)

## **D - Dimensionnement électrique**

### **1 - Considération de différents types d'alternateur**

Le dimensionnement de la partie électrique s'est réalisé en s'appuyant du manuel *Construire une éolienne*, Hugh Piggott, 2015 ainsi que d'un logiciel de simulation OpenAFPM (cf tutoriel annexe 1).

La partie électrique consiste au dimensionnement de la génératrice. Deux choix peuvent être envisagés :

- Un alternateur de voiture ou d'un appareil électroménager: celui-ci est assez facile à trouver mais fonctionne à grande vitesse de rotation. Cela nécessite ainsi l'utilisation d'un multiplicateur de vitesse. Par ailleurs, il faut également trouver un alternateur possédant des caractéristiques adaptées à notre situation.



Figure 10 : Alternateur de voiture

- Un alternateur Piggott: l'avantage est dans sa réalisation car il est facilement réalisable et adaptable pour n'importe quelle situation. Cependant, il possède une efficacité beaucoup plus faible étant donné sa réalisation manuelle.



Figure 11 : Alternateur Piggott

Nous avons opté pour un alternateur Piggott. L'alternateur Piggott se base sur le principe d'un alternateur à aimants permanents composé d'un stator contenant le bobinage et d'un rotor avec les aimants. Il délivre une source triphasée en sortie.

Pour notre cas, nous avons dimensionné l'alternateur pour une puissance nominale de 1 kW en accord avec la puissance hydraulique disponible. En effet, la puissance nette disponible est de l'ordre de 1350 W mais en supposant un rendement plus faible, on envisage d'avoir une puissance plus petite. Par ailleurs, il faut ajouter le rendement de l'alternateur qui permet de prévoir une puissance finale de l'ordre de 800 W. Cette supposition va être vérifiée par la suite.

Voici le schéma global de la partie électrique:

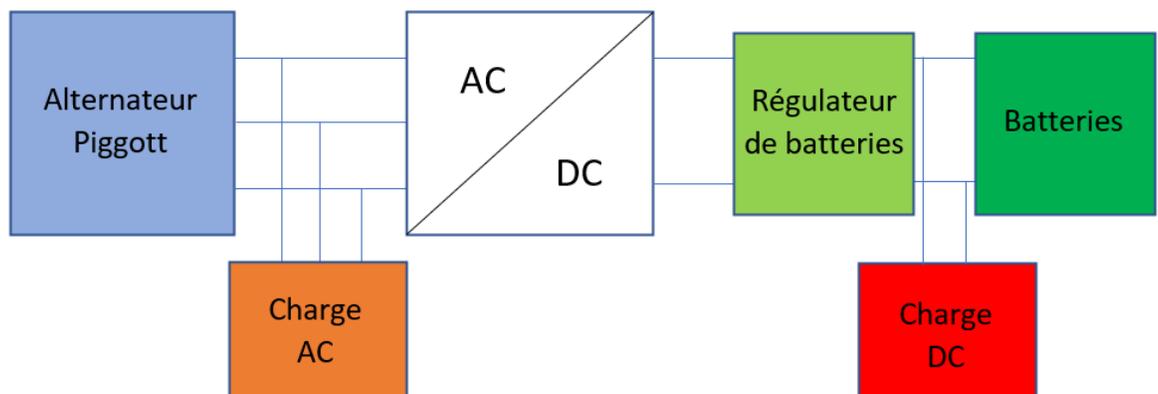


Figure 12 : Schéma de la partie électrique

## 2 - Dimensionnement de l'alternateur Piggott

### a - Choix des aimants et du bobinage de l'alternateur

Ce choix dépend de la puissance nominale de l'installation. Cependant, la norme exige un rapport de  $\frac{3}{4}$  entre le nombre de bobines et le nombre d'aimants. Ainsi, étant donné que la génératrice délivre une source triphasée (3 fils en sortie), les bobines doivent être multiple de 3.

Le manuel préconise de prendre 9 bobines, soit un nombre d'aimants égale à 12. Pour optimiser la force électromotrice induite au niveau du stator, on prendra deux rotors contenant 12 aimants chacun soit 24 au total. En effet, la rotation des aimants autour du stator va créer une variation du champ magnétique et donc générer une tension induite. Ainsi, l'ajout de deux parties rotoriques va optimiser cette tension en accord avec la loi de Lenz et le schéma suivant:

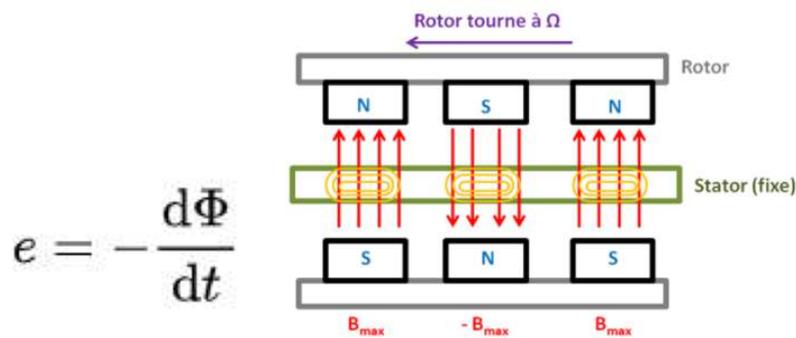


Figure 13 : Modélisation alternateur Piggott

On voit bien qu'en superposant une face Nord et une face Sud d'un aimant, la variation du flux est plus grande tout comme la tension induite. On obtient alors la disposition suivante:

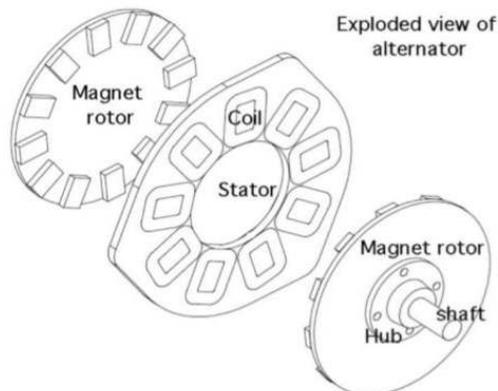


Figure 14 : Alternateur Piggott en vue explosé

Le choix des aimants dépend principalement de deux facteurs: le budget ainsi que l'efficacité souhaitée. Pour notre installation de 1 kW, nous avons opté pour le côté optimisation même si le budget doit être raisonnable. C'est pourquoi, nous avons choisi des aimants Néodyme Fer bore (NDFEB) N40 avec pour dimension 46 x 30 x 10.

Pour avoir plus d'information sur les caractéristiques de ce type d'aimant : [https://www.supermagnete.fr/data\\_sheet\\_Q-46-30-10-N.pdf](https://www.supermagnete.fr/data_sheet_Q-46-30-10-N.pdf)

### ***b - Dimensionnement des bobines***

#### ***Calcul de la section des fils***

Le choix de la tension en DC va impacter sur le dimensionnement des bobines dans le stator. En effet, plus la tension va être élevée, plus le courant circulant dans les bobines va être faible ( $P = U \times I$ ) et donc l'épaisseur des fils de cuivre va être plus faible.

En outre, le courant génère de l'effet Joule en  $R I^2$  ce qui impose cette épaisseur. Cependant, nous allons voir par la suite que plus la tension est élevée, plus le nombre d'enroulement de chaque bobine va être élevé. Le dimensionnement résulte finalement dans le compromis de ces deux critères.

On choisit alors de réaliser notre alternateur en considérant une tension de sortie de 48V DC. Sachant que notre alternateur est en triphasé alternatif, il faudra rajouter en sortie un convertisseur AC/DC (redresseur). La puissance prévue en sortie est de l'ordre de 800 W soit un courant de  $I=P/U=16.7$  A.

Connaissant la valeur du courant qui circule dans les fils, on peut déterminer leur section via un abaque selon le type de câble utilisé. Le livre préconise de prendre un diamètre de 1.6mm et le logiciel en ligne de 1.7mm.

#### ***Calcul du nombre d'enroulement***

On retrouve ainsi la même formule présente dans le manuel afin de déterminer le nombre d'enroulements d'une bobine.

$$U_{moyen} = 2 * A * \beta * n_{total} * N$$

$$n_{total} = N_{enroulement} * N_{bobines\ séries}$$

N : vitesse rotation en [tr/sec]

$\beta$  : densité du flux magnétique en [Tesla]

A : surface totale des aimants [m<sup>2</sup>]

$U_{moyen}$  correspond à la tension moyenne mesurée au niveau des bobines. Cependant la tension max est supérieure à cette tension triphasée d'un facteur de 1.57. Par ailleurs, la tension triphasée est supérieure à la tension continue d'un facteur de 1.73 soit donc une tension maximum continue suivante:

$$U_{DC} = 2.72 * U_{moyen}$$

Il faut également tenir compte de la chute de tension liée aux diodes du redresseur qui vaut 1.4V (elles sont moins importantes sous 48V). On obtient alors:

$$n_{total} = \frac{U_{DC} + 1,4}{2 * A * \beta * N * 2,72}$$

En prenant :

- $U_{DC} = 48V$
- $A = 48mm * 30mm * 12 = 0.017 m^2$
- $\beta = 0.62T$
- $N = 167 tr. min^{-1} = \frac{167}{60} = 2,78 tr. s^{-1}$

Ce qui donne :

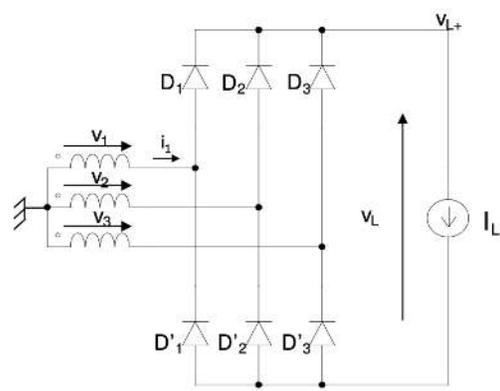
$$N_{enroulement} = 104$$

Le logiciel trouve une valeur d'enroulement de 108 ce qui correspond au bon ordre de grandeur. Par ailleurs, le choix de  $\beta$  est en accord avec celui calculé par le logiciel qui est de 0.6 T environ qui correspond à peu près à celui du manuel qui préconise de prendre un  $\beta$  de 0.62 T.

Dans le livre, N représente la vitesse de démarrage soit la vitesse nécessaire pour commencer à charger les batteries mais dans notre cas nous fonctionnons à débit constant et donc à vitesse de rotation constante. Ainsi, pour vérifier la bonne valeur de N à choisir pour notre alternateur, il faudrait réaliser un alternateur en prenant une vitesse de rotation  $N = 167 tr. min^{-1}$  et un autre avec une vitesse de rotation  $N = 500 tr. min^{-1}$  et de réaliser des tests afin de déterminer le meilleur choix.

### c - Choix du redresseur

La première décision à prendre est de savoir quel type de redresseur nous voulons, redresseur de diodes ou de thyristors. Comme nous n'aurons pas besoin d'utiliser un angle de retard pour commander les thyristors, nous choisissons, pour des raisons de prix et de simplicité, le redresseur à diodes (triphassée, bien sûr).



Pour choisir le bon redresseur, on a deux contraintes importantes, le courant et la tension qu'il doit supporter. La contrainte économique est inexistante car il s'agit de composants simples et très bon marché. Pour en revenir aux paramètres électriques, on sait, grâce au dimensionnement précédent que nous avons effectué, que pour maintenir la puissance requise, nous allons avoir besoin d'un composant qui résiste à un courant d'au moins 20 A et à une tension d'environ 50 V. Nous l'avons surdimensionné pour que, dans les cas extrêmes, nous n'ayons pas de problèmes.

Une fois ces conclusions tirées, il est temps de décider s'il faut le construire nous-mêmes à partir de composants de base (6 diodes, câbles) ou s'il faut tout acheter directement. Normalement, il n'est pas complexe de le faire manuellement, c'est pourquoi cette option est valorisée.

Après avoir examiné en détail les boutiques en ligne, nous constatons que dans ce type de redresseur, il est tout aussi coûteux, voire plus coûteux, de le faire soi-même que de l'acheter directement. Nous avons donc décidé d'acheter le tout, car les performances et la qualité seraient plus élevées.

Le redresseur indiqué ci-dessous serait le meilleur choix compte tenu des restrictions, du prix et de la qualité. Il peut supporter 40A de courant et 1KV, valeurs que sont beaucoup plus élevés dès qu'on a besoin, donc on aura un bon margin. Au total, si l'on compte la cargaison, il s'agirait d'environ 12€:



Figure 15 : Redresseur 3 phases

Comme on a bien expliqué dans la partie 2 "Choix de la tension de sortie DC" nous avons décidé d'avoir une tension de sortie de 48V.

Sur cette base et ayant en compte la nature du redresseur, on voit que on aura besoin d'une tension d'entrée d'environ 20V. Dans les designs ci-dessous on peut observer plus clairement à ce qu'on fait référence:

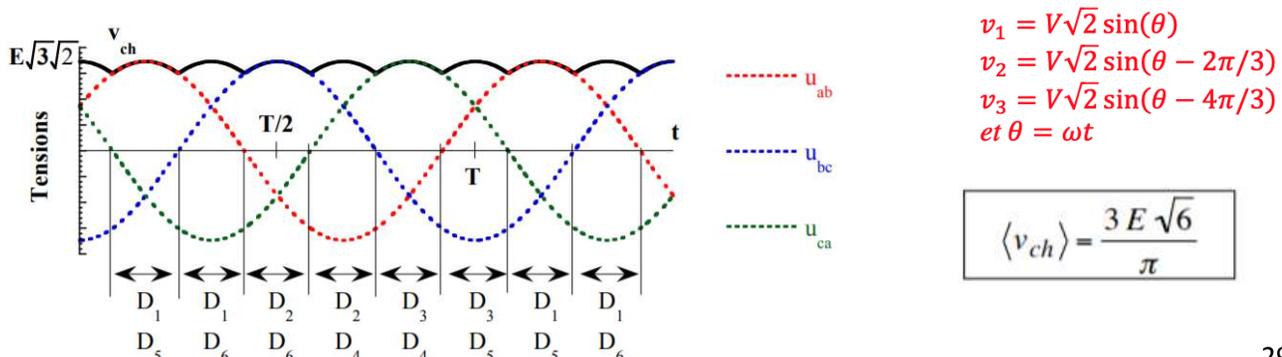


Figure 16 : Tension de charge pour un redresseur triphasé de tension en pont complet

Si on veut obtenir une tension continue de 48V, on a alors :  $E = \frac{48*\pi}{3*\sqrt{6}} = 20.52 V$

#### **d - Dimensionnement batteries**

Les batteries sont utilisées pour fixer la tension DC en sortie du redresseur. Après avoir effectué des recherches sur Internet et comparé différentes options, nous sommes arrivés à la conclusion que la meilleure option est d'utiliser 4 batteries de 12 volts au lieu d'une grande pile de 48 volts.

Cette décision est due au fait qu'une batterie de 48 volts est beaucoup plus chère (quelques milliers d'euros) et difficile à trouver, et que 4 batteries de 12 volts sont beaucoup plus courantes et moins chères, et ont aussi l'avantage que si l'une d'entre elles se casse, les autres continuent à fonctionner.

Lorsque on choisi notre batterie, on doit tenir compte de la quantité de puissance que nous aurons besoin. Pour ce faire, nous allons faire cette petite étude hypothétique. Imaginons qu'on voulait fournir de l'énergie à: 8 ampoules, 1 ordinateur et 1 TV. Chaque dispositif est allumé les heures décrites en h/jour, et il a une puissance fixé:

Type de consommation	Q uantité	Puissan ce (W)	Heures de fonctionnement par jour	Wh /jour
Eclairage	8	11	5	440
Télévision	1	60	4	240
Ordinateur	1	25	2	50
			TOTAL	730

On arrive à un total de 730 Wh/jour.

À partir de ces données, nous calculerons la capacité en Ah des batteries que nous aurons besoin pour satisfaire la demande requise.

Nous le faisons sur la base de cette formule:

$$Ah = (Wh/jour) * J_{autonomie} * Pertes / (Pd * V_{bat})$$

Avec:

**Wh/jour:** Puissance nécessité.

**L'autonomie:** jours d'autonomie. Dans notre cas, comme il s'agit d'une turbine hydraulique dans laquelle le flux d'énergie est constant, nous n'avons pas besoin d'une très grande autonomie, donc nous mettrons 1 jour.

**Pertes:** dues à la température ou à la performance des batteries, où nous mettrons un coefficient de 15 %.

**Pd:** Coefficient de charge des batteries, dans lequel nous mettrons selon les données communes que nous avons trouvées sur internet, 70%.

**V<sub>bat</sub>:** Voltage de chaque batterie, dans notre cas, 12.

Cela nous donne un total de **100 Ah**. Ce qui est tout à fait abordable en termes de batteries. Pour moins de 130€ on la peut trouver, ça qui donne un total de moins de 520€.

Dans un premier temps, la capacité de celles-ci n'est pas très importante car l'objectif est faire fonctionner l'installation directement en charge.

Enfin, il faut placer un régulateur de batterie avant afin de pouvoir éviter une tension en entrée supérieure à celle des batteries qui pourrait créer une dégradation.

## ***IV - Dimensionnement standardisé***

Partie qui sera complétée à long terme avec des fiches de dimensions de turbines standardisées avec la partie électrique correspondante. Ces fiches seront fournies pour une plage de fonctionnement où leur rendement est acceptable.

## ***V - Manuel de construction***

### ***A - La roue***

**Construction duration ?**

### 1 - Matériel nécessaire

Quoi	Combien
Planche 400*400*20	2
Planche 400*400*10	1
Tige filetée D12	4*70cm
Tuyau PVC DN125	2m
Boulons D12	≈ 60
Moyeu	2 ( ? )
Cornière	

### 2 - Outils nécessaires

Essential tools	Useful tools
Scie à métaux et à bois	Scie sauteuse
Lime à bois et à métaux	Tour
Tournevis	Papier et scotch
Perceuse avec mèches 12 et 3	
Cutter	
Règle 50cm (une cornière sera mieux)	
Mètre	

### 3 - Construction attendue et vocabulaire

La roue, une fois construite, doit ressembler à la photo suivante (aux dimensions près évidemment) :



Figure 17 : Modèle numérique de la roue

Il nous faut définir deux mots de vocabulaire avant de continuer :

- Les pâles sont des pièces courbes sur lesquels l'eau viendra taper pour mettre la turbine en mouvement
- Les flasques correspondent aux disques de bois dans lesquels viendront s'insérer les pâles

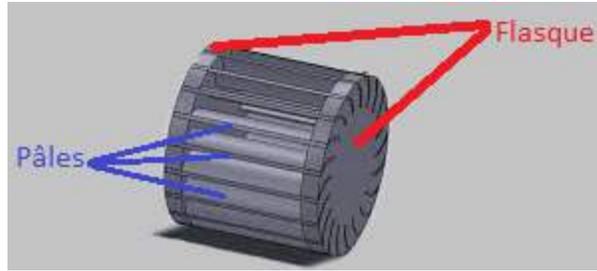


Figure 18 : Désignation des pales et des flasques

#### 4 - Conception

	Valeurs indicatives pour une puissance réel de 500 W avec H = 4 m et Q' = 25 L/s	A remplir si de tableau de dimensionnement
<b>D</b> (mm)	172	
<b>L</b> (mm)	$100 + 2 * E_{pf}$	
<b>DN à choisir</b>	DN 63	
<b>B (°)</b>	31,44	
<b>e</b> (mm)	3	
<b>Φ (°)</b>	71	
<b>P(m)</b> m)	28.5	

Table 1 : Tableau récapitulatif des dimensions de la roue

Avec  $E_{pf}$  l'épaisseur des flasques (les deux cercles en bois de part et d'autre de la roue)

Référez-vous au figure 5, 6 et 7 pour repérer les différentes dimensions. Les valeurs seront bien évidemment différentes en fonction du site et du dimensionnement de la turbine.

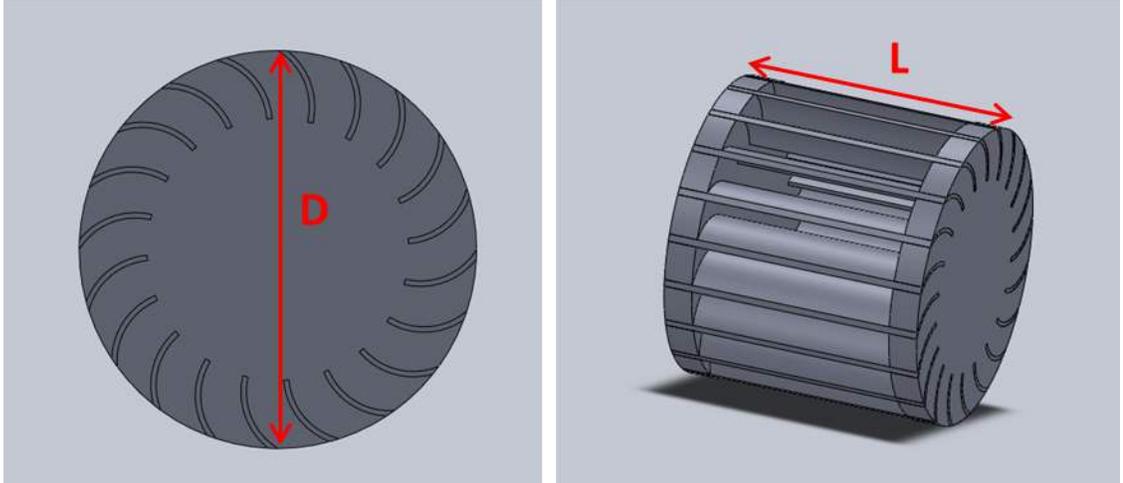


Figure 19 : Dimensions de la roue

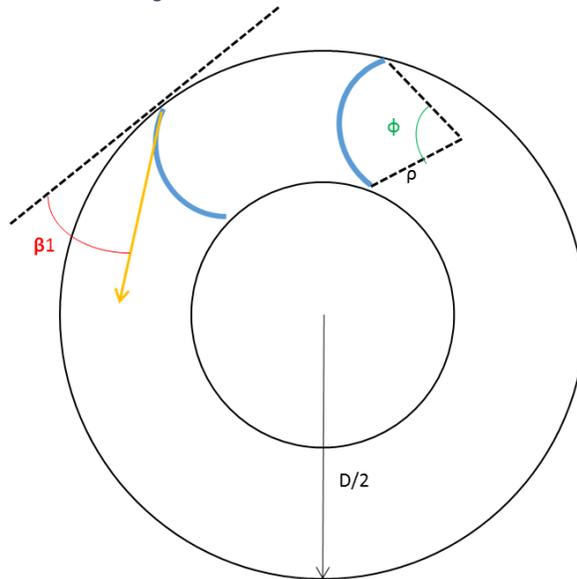


Figure 20 : Présentation des variables sur la roue

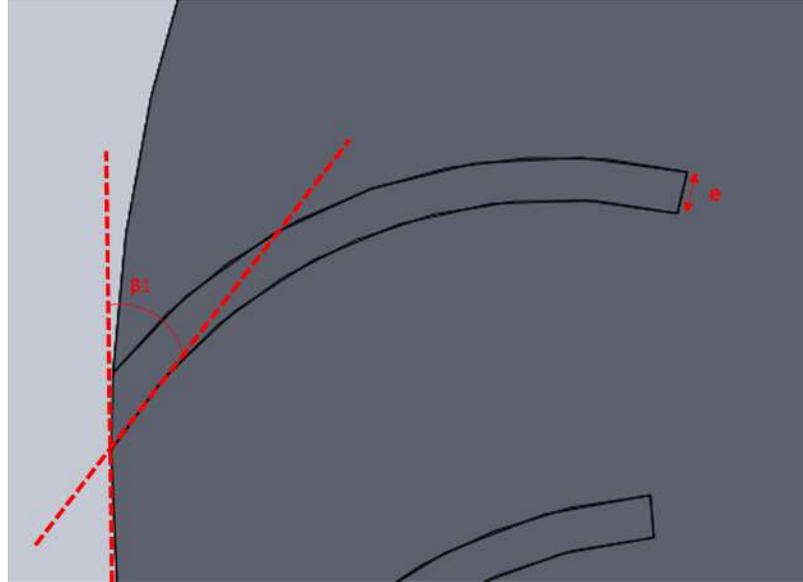


Figure 21 : dimensions sur la roue

## 5 - Construction

### Partie I : Les pales

La découpe peut être fait avec différents outils :

- Scie-circulaire : rapide, précis mais plus coûteux comme matériel
- Scie à métaux : plus long, cela peut être plus dur de rester droit et il se peut que la scie soit trop petite pour passer à travers de tout le diamètre

#### → Découper le tuyau

1. Mesurer une longueur L de tuyau et faire une marque.
2. Enrouler une feuille de papier autour du tuyau au niveau de la marque pour avoir un repère droit pendant la découpe et l'attacher avec du scotch.
3. Placer le tuyau dans un étau si possible pour faciliter la découpe (surtout si elle est faite à la scie à métaux)
4. Couper le tuyau le long de la feuille avec l'outil à disposition.

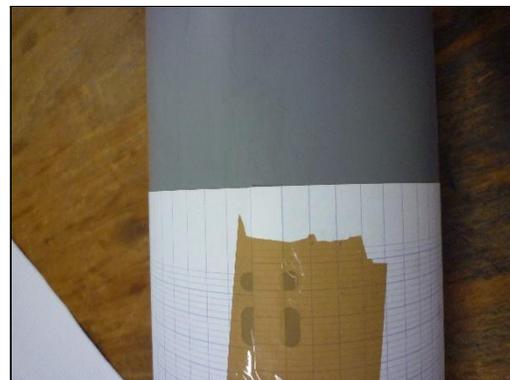
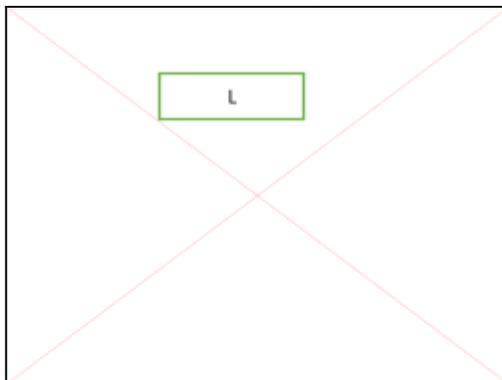


Figure 22 : Repère droit sur le tuyau pour la découpe des pales



Figure 23 : Découpe du tuyau à la scie circulaire

⚠ Il vaut mieux prendre de la marge sur la longueur à découper pour prévoir les éventuelles erreurs de découpe (marge à adapter selon l'outil de découpe et la maîtrise de celui qui découpe).

→ **Couper les pales**

1. Sur un support, dessiner un cercle de diamètre 125 mm et séparer le cercle en 5
2. Poser le tuyau précédemment découpé verticalement sur le dessin et reporter les 5 marques sur le tuyau.



Figure 24 : Marquage des pales sur le tuyau

3. A l'aide d'une cornière, prolonger les marques sur toute la longueur du tuyau.



Figure 25 : Marquage des pales sur le tuyau 2

4. Couper sur la marque à l'aide du cutter en repassant plusieurs fois.
5. Une fois la découpe entamée, on peut casser proprement les pales.



Figure 26 : Découpe des pales à la scie circulaire



Figure 27 : Pales découpées

Recommencer pour avoir le nombre de pales suffisant.

→ **Limer les pales**

Limer sur l'extérieur de la pale de manière à créer une arête vive. L'objectif est que la pale ne dépasse pas des flasques qui seront construites dans l'étape suivante et de permettre aux pales de couper proprement le courant d'eau sans éclabousser ce qui réduirait l'efficacité de la turbine.

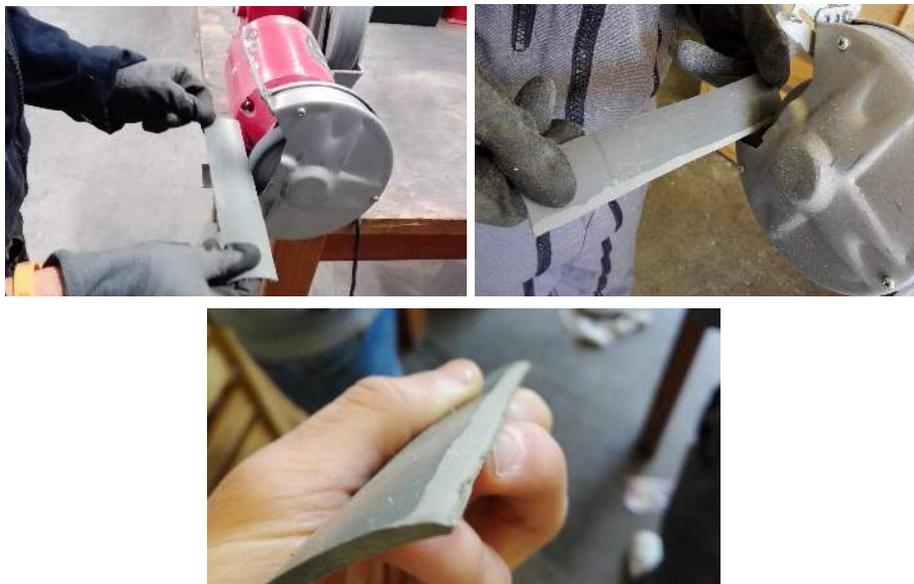


Figure 28 : Limage des pales

**Partie II : Les flasques**

Les flasques sont les disques en bois qui vont servir à maintenir les pales en position. On construit deux flasques latérales et, si les pales sont longues, la roue de largeur supérieur à 40cm environ, on en rajoute une au milieu pour éviter la flexion des pales.

→ **Découper les flasques**

1. Tracer un cercle de diamètre (D) sur chaque planche. Bien repérer le centre.
2. Couper les cercles à l'aide d'une scie sauteuse ou d'une défonceuse.



Figure 29 : Flasques de diamètre D découpées

→ **Rendre les flasques coaxiales**

Pour cela, il faut faire un patron sur lequel on indiquera le centre du moyeu et reporter les positions des fixations de la partie mobile du moyeu autour.

1. Choisir une planche en bois d'une épaisseur d'environ 1,5 cm pour que le patron puisse servir de support pour la suite
2. Percer des trous de D12 dans le patron au niveau des fixations et du centre avec la perceuse à colonne
3. Poser le patron sur les flasques en les alignant grâce au centre
4. Serrer le tout grâce à un serre-joint
5. Percer les flasques uniquement au niveau des fixations avec la perceuse à colonne



Figure 30 : Repérage des fixations du moyeu sur les flasques

→ **Tracer les encoches sur les flasques**

1. Déposer le plan imprimé de la flasque sur la flasque réalisée précédemment. Le centrer.
2. Tamponner de l'alcool (?) ou de l'acétone (?) sur la feuille de papier pour que l'encre soit transférée sur le bois.

**Sinon :**

1. À partir des plans, réaliser un patron rigide. Pour cela coller les plans sur une planche fine puis couper sur les lignes en numérotant les encoches
2. Sur chaque flasque tracer les encoches pour les pales à l'aide du patron en partant du repère.



Figure 31 : Traçage des encoches sur les flasques

→ **Découper les encoches en les numérotant.**

1. Vérifier que les pales passent dans toutes les encoches et ne dépassent pas de la flasque.



Figure 32 : Flasques numérotées avec les pales insérées

2. Pour bien arrondir les flasques, on peut construire un porte lime. (Il faut) Ou utiliser du papier de verre sur un fer plat

**Conseil :** Pour le porte lime faire une structure plus rigide. **Détailer la construction du porte lime.**

**Attention :** Avec la perceuse, le porte lime bouge beaucoup.

**Partie III : L'assemblage**

→ **Positionner les flasques**

1. Prendre une des flasques et faire passer les tiges filetées dans les 4 trous de fixation précédemment percé
2. Laisser suffisamment dépasser la tige pour pouvoir boulonner.

3. Il est possible de réutiliser le patron réalisé précédemment pour travailler plus confortablement si ce dernier est assez épais. Il faut alors agrandir les trous des fixations pour laisser passer les écrous
4. Boulonner les tiges de chaque côté de la flasque.
5. Mettre 4 écrous sur chaque tige filetée au niveau de la flasque suivante (fine s'il y a un flasque centrale, épaisse s'il n'y a que deux flasques en tout).
6. Insérer la flasque et recommencer l'opération si besoin. Bien aligner les trous



Figure 33 : Mise en place des tiges filetées sur les flasques

7. En vissant doucement les écrous, mettre les flasques bien parallèles.
8. Utiliser le niveau pour vérifier le parallélisme et tourner les boulons en tournant autour de la roue. On peut mettre des contre-écrous pour une meilleure tenue.

Recommencer avec l'autre flasque.



Figure 34 : Alignement des flasques

#### → Positionner les pales

Si besoin, fabriquer deux (ou quatre s'il y a une flasque centrale) cales qui viendront entre les flasques. Elles doivent passer entre deux pales.

1. Glisser les pales une à une en mettant les quatre cales autour. Vérifier que les pales ne dépassent pas des flasques
2. Limer les encoches des flasques si besoin

Cales

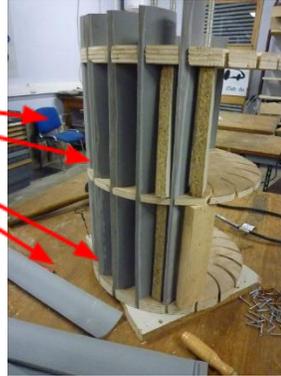


Figure 35 : Placement des cales

### Différentes possibilités pour fixer les pales

#### a. Vis

Faire attention au diamètre de la visse pour éviter que le bois ne fissurent. Et bien préparer les pas de visse pour que la visse aille bien dans la bonne direction.

- i. Pré-percer au diamètre juste inférieur des vis avec une perceuse chaque pale et chaque flasque (1 sur 2 si il y a une flasque intermédiaire) le long de la ligne en pointillé rouge (cf. ci-dessous) afin de faciliter l'insertion des vis.



Figure 36 : Trous pour la fixation des pales

- ii. Visser les pales dans les flasques

b. Colle : durabilité

c. Collier de serrage : nécessite de mettre quelque chose sur les côtés pour éviter que les pales ne glissent en dehors.

Durabilité ? Est-ce que cela tient sur la durée ?

3. Découper les pales qui dépassent des flasques

#### ⚠ Toutes les pales doivent avoir la même longueur !

Sinon après insertion dans les flasques, les pales pourront être vrillées parce qu'en faisant en sorte que les pales aillent au bout de la flasque de chaque côté, la différence de longueur va les vriller.

Cela n'induit peut-être pas trop de problème à la pose de la turbine mais cela peut créer des contraintes qui peuvent réduire sa durée de vie sur le long terme.

**Pour éviter ce problème, on peut mettre les flasques sur une tige filetée pour aligner les centres et ensuite mettre les pales dans les flasques puis découper ce qui dépasse. Mais il faut être capable de savoir quand la longueur de pale entre flasque est la bonne.**

4. Limer les têtes de vis pour qu'elles ne dépassent pas des flasques.



Figure 37 : Roue achevée

## B - L'injecteur

**Construction duration:** 10h cb de personne

### 1 - Matériel nécessaire

Quoi	Combien
Vis	
Vis	
Planches P1	2
Planches P2	2
Planches P3	2
Tasseaux T1	
Tôle 1	1
Tôle 2	1
Cornière	

### 2 - Outils nécessaires

Matériel Nécessaire	Matériel utile
Scie à bois	Défonceuse
Scie à métaux	Scie sauteuse
Tournevis	Disqueuse
Lime à bois	Serre-joints

### 3 - Construction attendue et vocabulaire

Un injecteur complet ressemble à cela :



Figure 38 : Photo de l'injecteur fini

### 4 - Conception

La forme de l'injecteur est prévue pour que l'eau arrive sur la roue avec le même angle d'incidence ( $17^\circ$ ) sur toute la longueur de l'arc d'injection.

### 5 - Construction

#### Partie I : Les cadres

#### Photo impression + collage

Figure 39 : Photo impression et collage

- Collez les calques « joue intérieure haut » (gauche et droite) (voir annexe) sur les planches **P1**, si possible de manière à ce que le rebord supérieur de la partie supérieure suive les bords des planches.
- Collez les calques « joue intérieure bas » gauche et droite (voir annexe) sur les planches **P2**, si possible de manière à ce que le rebord inférieur de la partie inférieure suive le bord de leur planche.
- Découpez la planche le long de la forme.

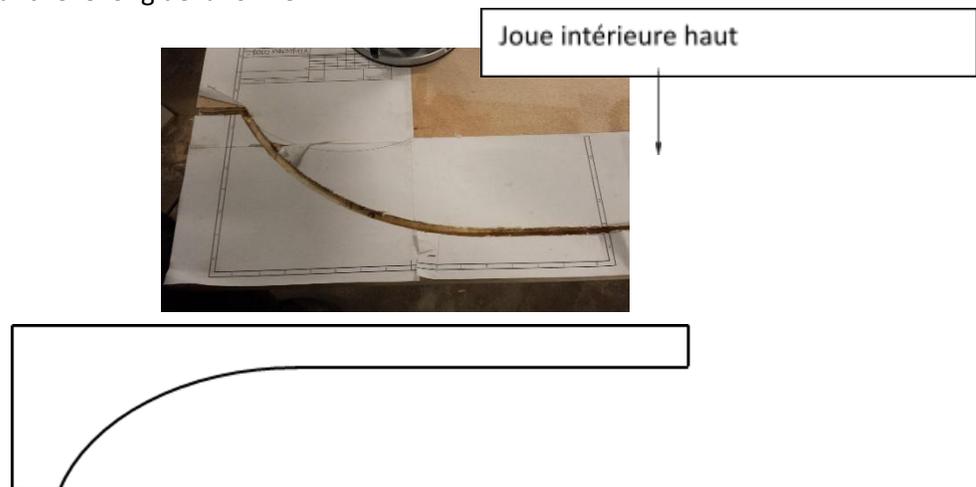


Figure 40 : Joue intérieure haute

- Découper des tasseaux de type T1.

La découpe peut être effectuée à la scie sauteuse ou à la défonceuse.

- scie sauteuse : assez rapide, la difficulté sera juste de suivre des lignes courbées. Mais le résultat sera très propre.
- défonceuse : très lent comparé à la scie sauteuse mais elle suivra plus facilement des lignes courbées.

Les tasseaux doivent être fixés le long du rebord qui sera tourné vers l'intérieur du déflecteur.

Ainsi, ils soutiendront la tôle :

- Assembler les deux planches découpées correspondant à la partie basse à l'aide des tasseaux. Nous l'appellerons cadre inférieur.

Attention : les tasseaux ne devront pas gêner la rotation de la roue. Il peut être nécessaire de couper l'angle d'un tasseau pour qu'il rentre correctement.

- Assembler les deux planches découpées correspondant à la partie haute à l'aide des tasseaux. Nous l'appellerons cadre supérieur.
- Attention: il est important que le tasseau qui est à l'extrémité finale de la courbure (là où l'eau va sortir du déflecteur) soit tangent à la courbe sur la fin. Une ou plusieurs cales peuvent être ajoutées pour ajuster.



La cornière permet d'aligner le tasseau avec l'extrémité final de la courbure

Figure 41 : Cadre supérieur

## Partie II : les tôles

Il y a deux possibilités :

- a. mettre de la tôle uniquement sur les faces supérieure et inférieure de l'intérieur de l'injecteur pour améliorer l'efficacité du système par rapport à un injecteur entièrement en bois
- b. créer une "cage" de métal pour à la fois rendre le tout plus efficace mais aussi et surtout pour étanchéiser l'injecteur et éviter les infiltrations d'eau qui pourrait apparaître avec le temps dans le bois, fragilisant la structure

Définir approximativement la longueur de tôle à découper. Pour vous aider, vous pouvez utiliser une ficelle longeant la tranche de votre planche découpée ou de votre calque. Mieux vaut que la tôle soit un peu trop longue.

### 1 - Cas sans cage

- a. Découpez les tôles à cette longueur pour les fixer sur la face intérieure des cadres
- b. Vissez les tôles dans la tranche des planches  
Pour ajuster la position correctement, aidez-vous de serre-joints.



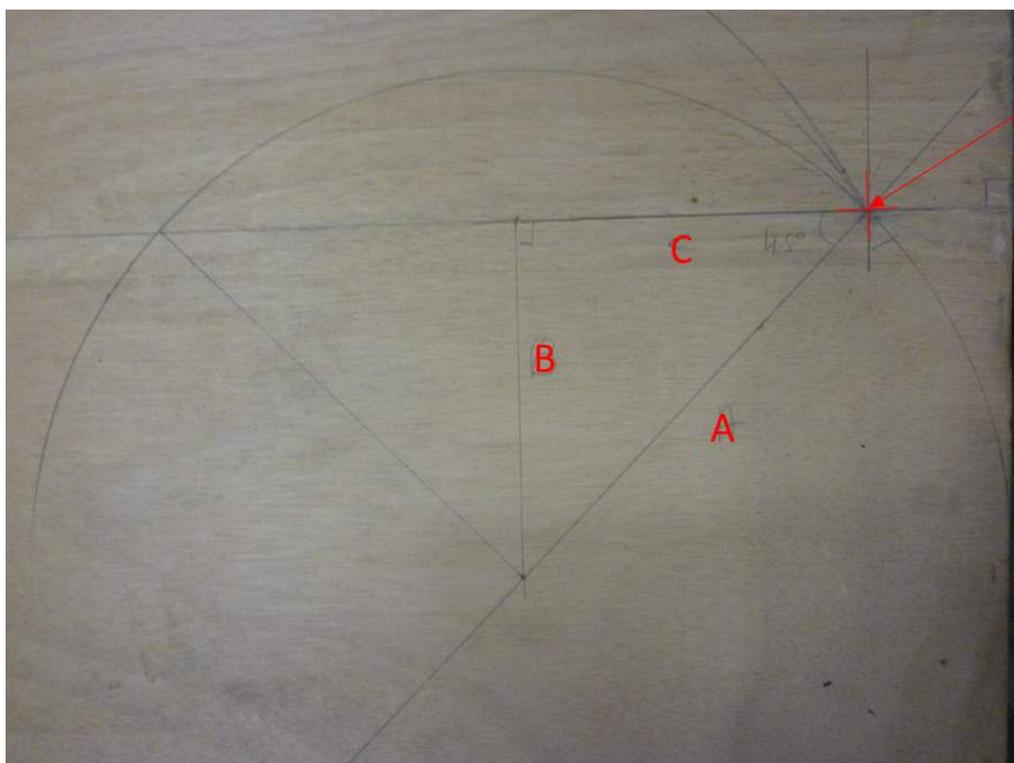
Figure 42 : Cadre supérieur avec tôle attachée

## 2 - Cas avec cage

**WORK IN PROGRESS**

### Partie III : Les pièces latérales et l'assemblage

- Posez le cadre supérieur le long de deux rebords de votre planche **P3** en le positionnant dans l'angle, puis tracer au crayon le contour du cadre supérieur du côté extérieur de l'injecteur
- A partir du point extrême du déflecteur (le plus proche de la roue), tracez le centre du cercle à partir des longueurs A, B et C. Puis tracez le cercle (**voir plans injecteur**)



Point à partir duquel tracer le cercle

Figure 43 : Plan injecteur

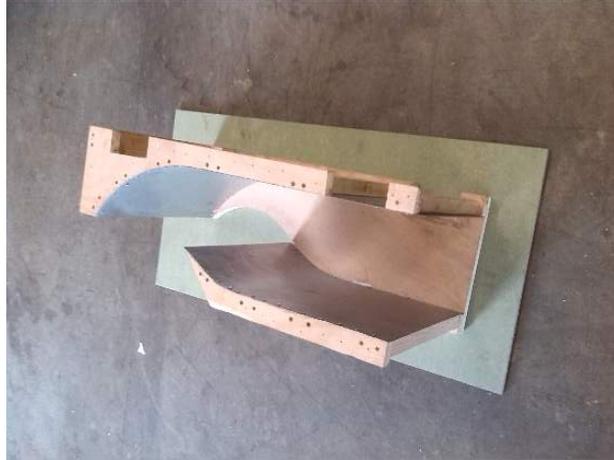


Figure 44 : Assemblage joue basse et haute avec joue droite

**Positionnement de la partie basse :**

L'extrémité du cadre inférieur doit venir se positionner à la même hauteur que l'extrémité du cadre supérieur (à droite sur la photo). Les deux cadres doivent être parallèles.

- Tracez le contour de la partie basse du côté extérieur de l'injecteur
- Découpez ensuite la planche qui servira de partie latérale de manière à ce que vous puissiez visser les cadres dessus. C'est-à-dire, découpez la partie latérale selon les bords extérieurs des cadres et le long de l'arc de cercle.

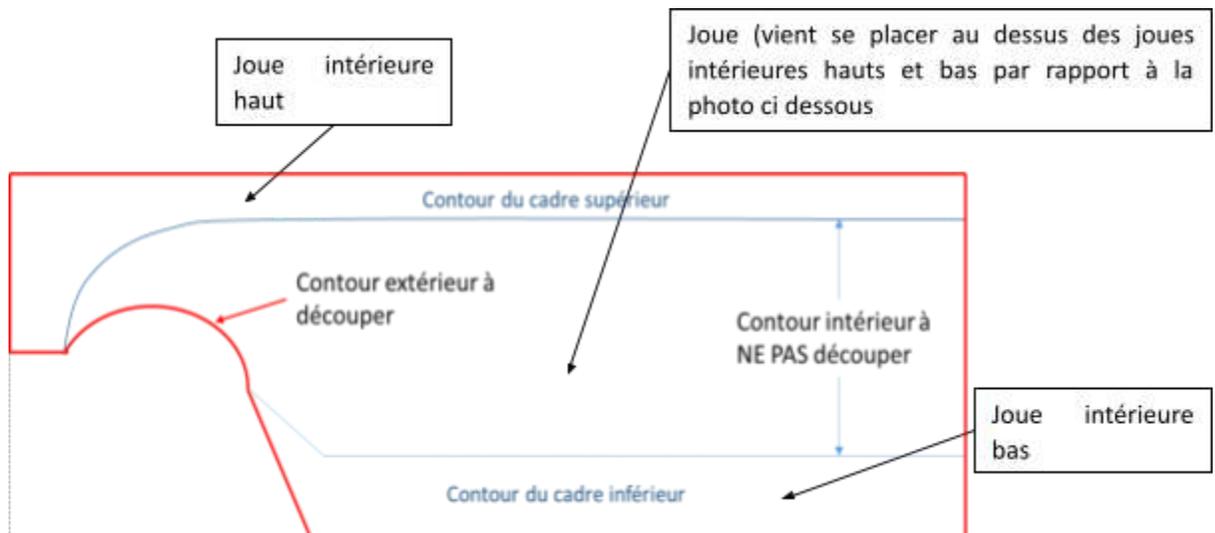


Figure 45 : Schématisation des contours à découper

- Réalisez symétriquement la seconde partie latérale



Figure 46 : Montage de joues

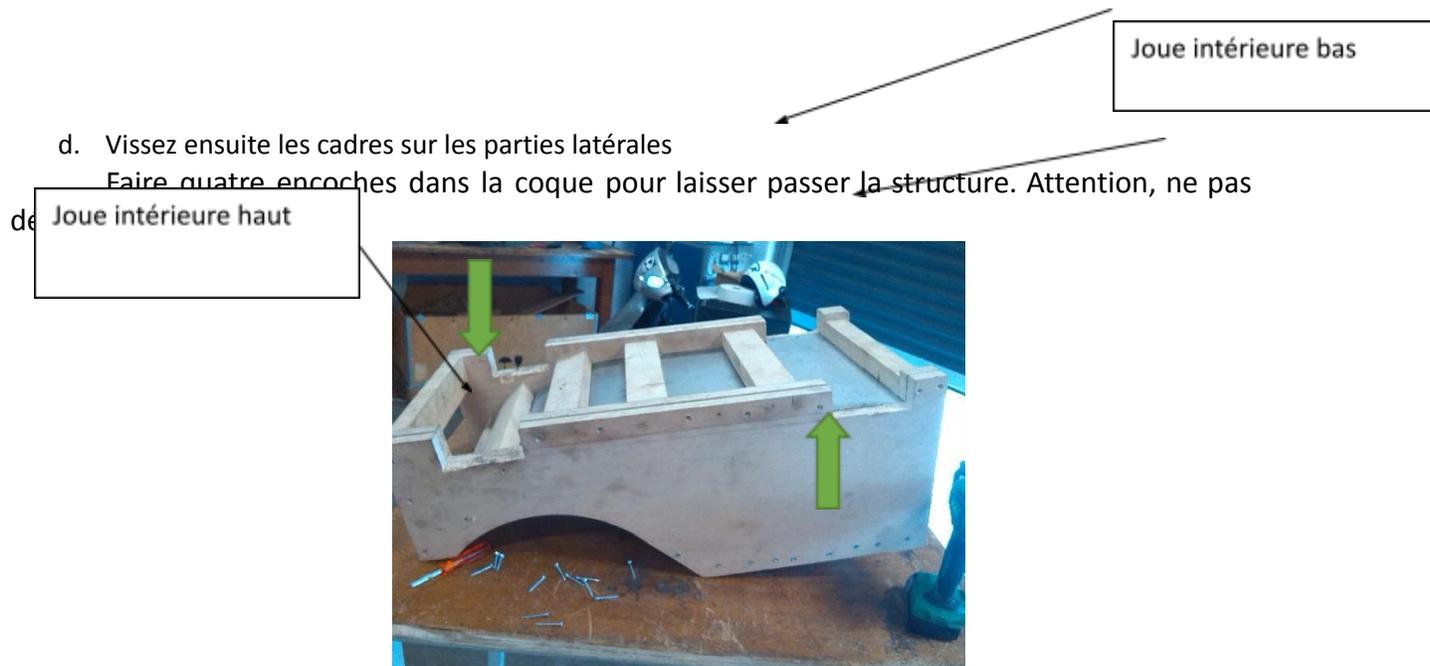


Figure 47 : Découpe des encoches

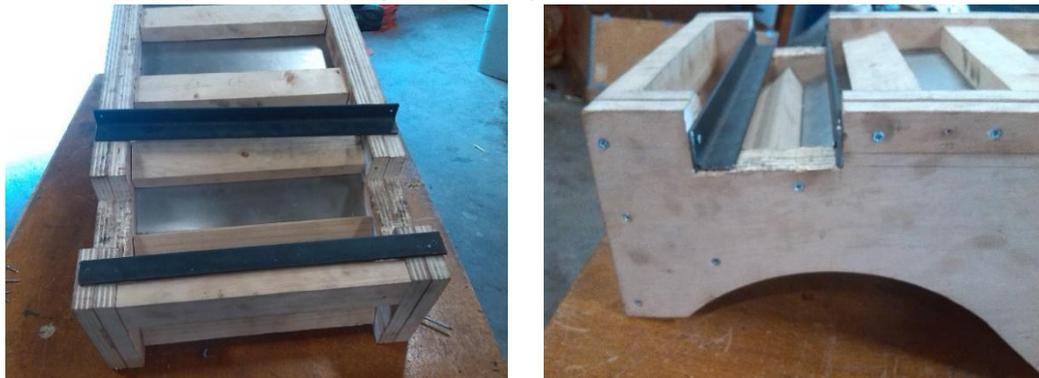


Figure 48 : Mise en place de cornières

Découper deux morceaux de cornière de la dimension de la largeur de l'injecteur et deux entre les encoches de l'injecteur.

Percer les cornières pour pouvoir les visser sur l'injecteur afin de le poser sur des rails. Ces rails doivent être légèrement plus hauts que les encoches.



Figure 49 : Injecteur terminé

Mettre du joint sur tout l'intérieur de la structure

### **C - Transmission**

La transmission mécanique permet de transmettre la puissance de la roue de la turbine à la génératrice.

Dans la plupart des cas, la vitesse de rotation de la turbine ne convient pas à la génératrice. On ne peut donc pas avoir l'alternateur sur la même ligne d'arbre que la roue de la turbine. Il faut un organe entre les deux pour les relier et pour adapter la vitesse de rotation. C'est, par exemple, le cas des alternateurs de voiture/camion qui nécessite une multiplication de vitesse pour pouvoir être utilisé.



Figure 50 : Alternateur de voiture

Dans le cas d'un alternateur auto-construit, type Piggott, il est possible de le dimensionner pour la vitesse de rotation nominale de la turbine. Ceci permet de se passer de transmission mécanique et de connecter l'alternateur directement sur l'axe de la roue.

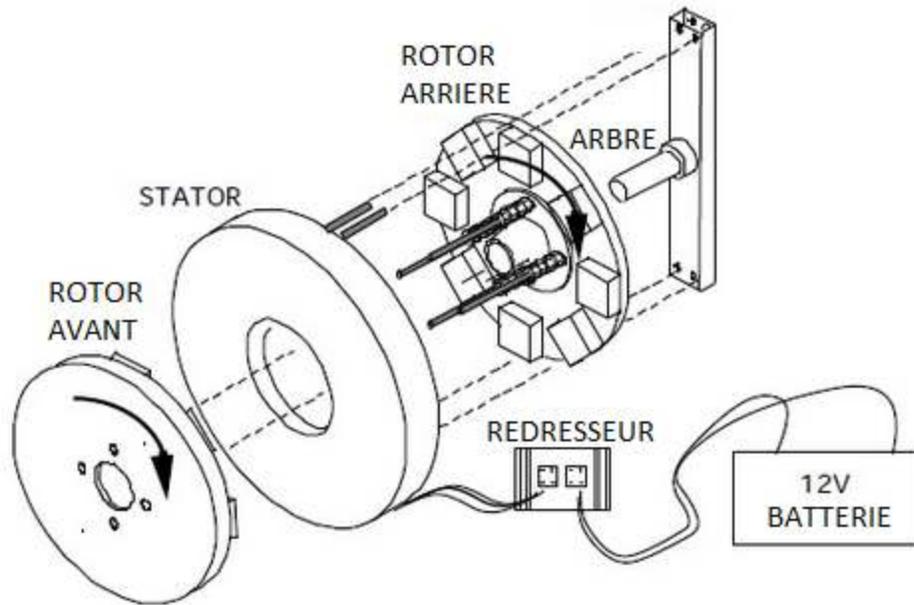


Figure 51 : Eclaté d'un alternateur Piggott

Une transmission est faite via une courroie, ou une chaîne, entraînée et entraînant des poulies. La poulie motrice, sur la roue de la turbine, va entraîner la courroie, qui va faire tourner la deuxième poulie, qui entraîne la génératrice.

La différence de vitesse de rotation entre les deux poulies est due au diamètre des poulies. Plus la différence de diamètre est importante, plus le rapport des vitesses sera important.

Pour augmenter la vitesse de rotation, ce qu'il faudra souvent faire pour les turbines banki, il convient de mettre une grosse poulie motrice sur l'axe de la roue, et une petite poulie de l'autre côté sur l'axe de l'alternateur.

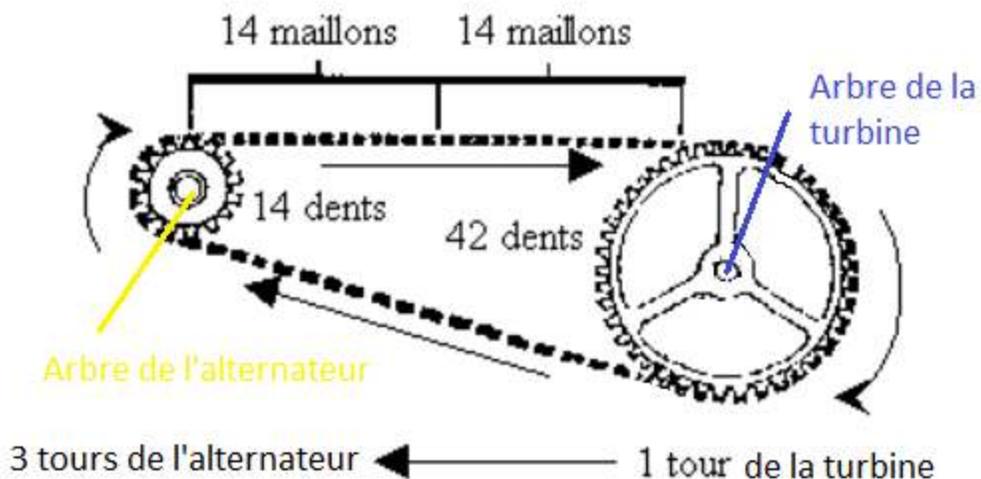


Figure 52 : Exemple d'une multiplication par 3 de la vitesse avec une chaîne de vélo

Une transmission à plusieurs étages, c'est-à-dire plusieurs courroies d'affilée, est possible, mais plus il y a d'étages, plus il y a de pertes de rendement et plus la construction est compliquée.

On utilise plutôt les courroies pour les hautes vitesses, et les chaînes pour des plus faibles vitesses avec de gros couples.

Pour nos puissances, tout peut convenir. Il est cependant plus facile de fabriquer une transmission par courroies, puisque les poulies des chaînes nécessitent des pignons (dents) adaptés à la chaîne. Il est toutefois possible de récupérer une transmission par chaîne sur des appareils, comme les vélos et les motos.

## 1 - Conception

Il faut d'abord connaître la vitesse de rotation de l'alternateur. Dans la plupart des alternateurs, elle dépend du nombre de paires de pôles, et vaut souvent 1500 tr/min. Dans le cas des génératrices auto-construites, elle est décidée lors du dimensionnement.

La vitesse de rotation de la roue de la turbine dépend du dimensionnement. Elle est calculée en fonction de la hauteur de chute et du diamètre de la roue. Pour une turbine Banki, elle est souvent comprise entre 200 et 600 tr/min.

Une fois les deux vitesses connues, il faut diviser la vitesse de la génératrice par celle de la roue de la turbine pour obtenir le rapport de réduction voulu.

Prenons par exemple le cas simple d'une turbine ayant une vitesse nominale de 300 tr/min et d'un alternateur à 2 paires de pôles (classiques) tournant à une vitesse de 1500 tr/min. On obtient donc un rapport de réduction de 5 : cela veut dire qu'il faudra augmenter la vitesse de rotation de la turbine par 5 pour faire tourner correctement la génératrice.

La poulie motrice aura donc un diamètre 5 fois plus grand que l'autre (attention le couple sur l'arbre de la génératrice sera 5 fois plus faible que celui sur la roue de la turbine, au rendement près).

Plusieurs solutions sont donc possibles en fonction des matériaux que l'on trouve. Le plus facile pour augmenter 5 fois la vitesse de rotation (à faible puissance) est d'utiliser la transmission d'un vélo : elle va généralement entre  $\times 2$  et  $\times 10$ .

Il convient d'attacher le plateau du vélo sur l'arbre de la turbine, et la cassette à l'arbre de l'alternateur, de les aligner sur le bon rapport, et d'utiliser la chaîne du vélo. Sur des poulies à pignons, on peut compter les pignons plutôt que de mesurer le diamètre. Il faut qu'il y ait 5 fois plus de pignons sur le plateau que sur la poulie à l'arrière dans le cas de notre exemple.

## 2 - Construction

Tout dépend des choix faits. Pour construire des poulies, il faut faire des disques du bon diamètre. Nous n'avons pas encore de solutions pour construire des courroies suffisamment résistantes, mais elles se récupèrent.

Les chaînes se récupèrent sur différents appareils, surtout des vélos et des motos. On peut les étendre en ajoutant des maillons. Les pignons sont très difficiles à construire puisqu'il faut être bien régulier et les construire spécifiquement pour la chaîne.

Quelques conseils pour la construction et le dimensionnement de la transmission de puissance :

- Ne pas prévoir un trop gros rapport en un seul étage, sinon la courroie ne sera pas assez en contact sur la petite poulie. Dans ce cas, il faut écarter au maximum les deux poulies pour avoir plus de contact.

- Il faut toujours adapter au mieux la courroie à la petite poulie, puisqu'elle aura moins de zone de contact avec elle.
- Toujours aligner les deux poulies. La perte de rendement est très marquante quand les deux poulies ne sont pas alignées. Les efforts sur les roulements des deux lignes d'arbres sont aussi augmentés dans ce cas.

### ***3 - Solution que nous avons déjà réalisée***

Nous avons construit un prototype de transmission, prévu pour une vitesse de rotation nominale de la turbine de 308 tr/min. L'alternateur que nous avons utilisé était un alternateur de voiture récupéré.

Les avantages de ce type d'alternateur sont :

- Récupérable sur des carcasses de voitures
- Courant en sortie est directement régulé (14V continu)
- Adapté aux batteries de voiture
- Pas de vitesse nominale (il faut aller au-delà d'une certaine vitesse pour commencer à produire)

Les inconvénients sont :

- Rendement très faible (entre 40 et 50%)
- Besoin de tourner très vite (à partir de 4000 tr/min)

Pour avoir une production d'électricité correcte malgré le faible rendement de l'alternateur, il nous fallait donc tourner très vite.

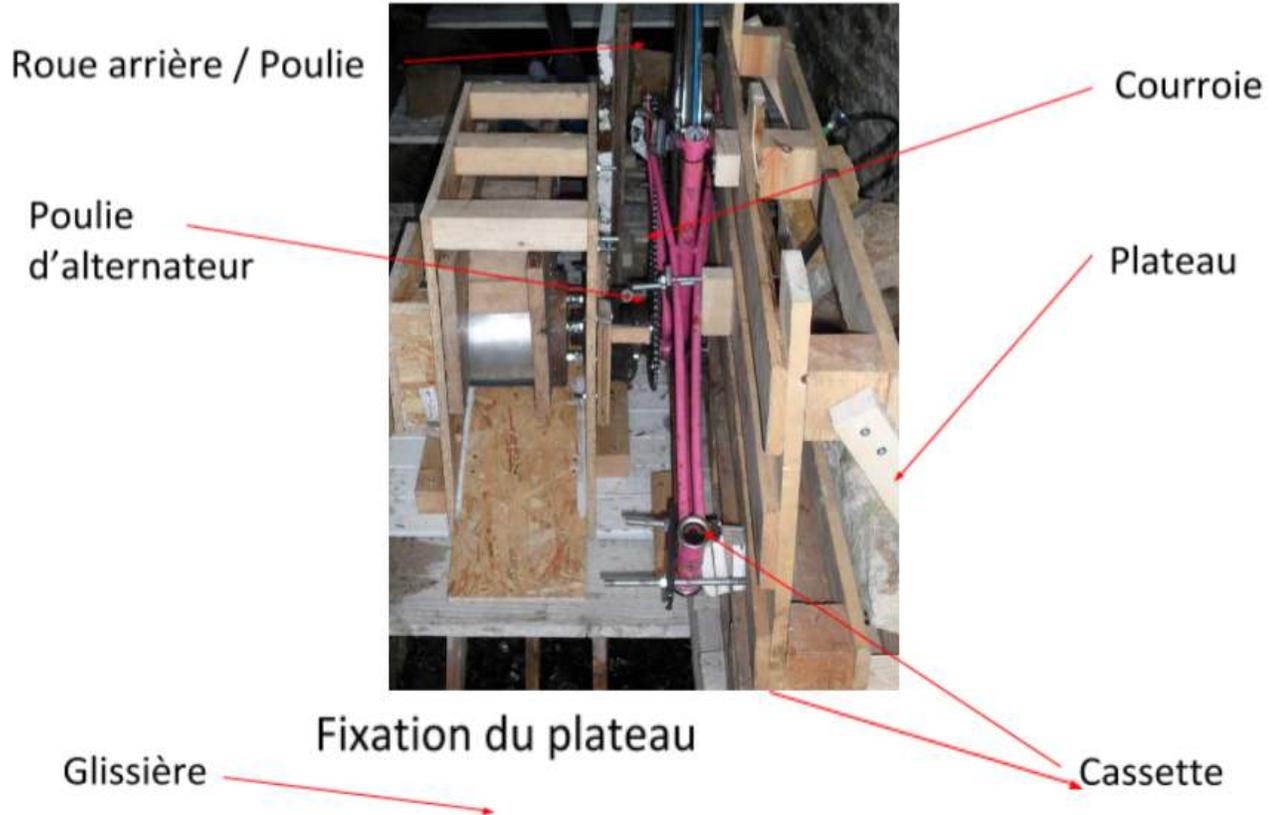
Nous avons choisi d'utiliser un vélo complet pour faire la transmission :

- un premier étage en utilisant la transmission par chaîne du vélo : multiplication par 1,5 de la vitesse
- un second en utilisant la roue du vélo comme poulie, reliée par une courroie à l'alternateur : multiplication par 14 de la vitesse.

Nous avons donc une multiplication par 21 de la vitesse de rotation, avec un rendement estimé à 80% pour toute la transmission.

#### ***Assemblage***

- a. Nous avons d'abord fixé le plateau avant du vélo, que nous avons démonté, sur l'arbre de la turbine
- b. Nous avons ensuite fixé le vélo à un bâti
- c. Nous avons aligné la cassette (pignons arrière) du vélo avec le plateau sur l'arbre. La chaîne du vélo reliait les deux poulies, donc la roue de la turbine entraîne la roue arrière du vélo
- d. Nous avons fixé l'alternateur sur une glissière en bois que nous avons fabriqué pour pouvoir tendre la courroie, puis fixer la glissière au bâti qui soutenait le vélo en alignant la roue arrière du vélo avec la poulie de l'alternateur
- e. Nous avons enfin placé la courroie, de type trapézoïdale, entre la roue et la poulie, en la tendant grâce à la glissière



## *D - Structure et assemblage final*

Construction duration : 10h

### *1 - Matériel nécessaire*

Quoi	Combien
Cornière 30*30*3	12m
700	4
650	5
800	4
100	3
Boulon M12	20

## 2 - Outils nécessaires

Tools required
Disqueuse
Scie à métaux
Lime à métaux
Poste à souder
Niveau
Clefs plates
Perceuse, forêt 8 et 12

## 3 - Conception

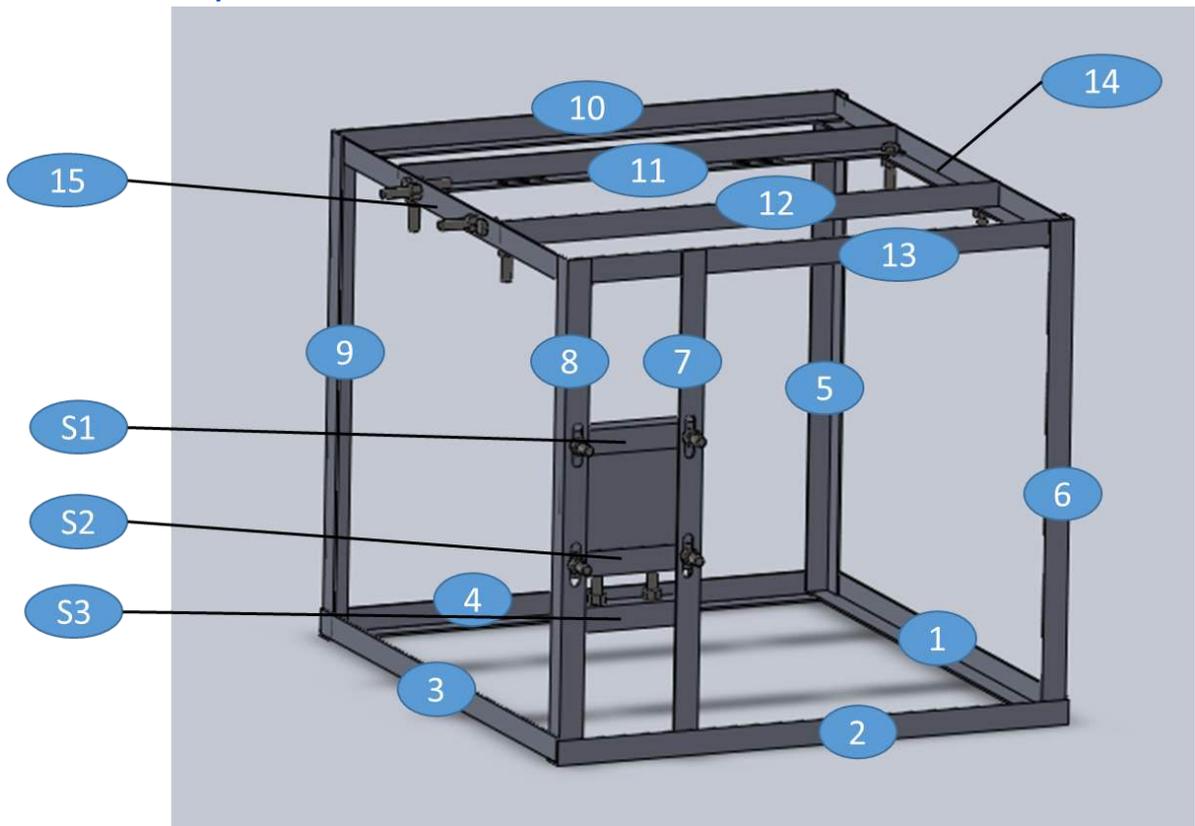


Figure 53 : Numérotation des pièces

Cornière N°	Longueur	Indication
1	La	=
2	Lo	=
3	La	=
4	Lo	=
5	H	>
6	H	>
7	H	>
8	H	>
9	H	>
10	Lo	<
11	Lo	<
12	Lo	<
13	Lo	<
14	La	=
15	La	=
S1*	150	<
S2*	150	<
S3*	150	<

Découper toute les cornières en suivant les cotations du tableau. Respecter l'indication de tolérance :

- < : après la découpe la longueur ne DOIT PAS être SUPÉRIEURE à la valeur
- > : après la découpe la longueur ne DOIT PAS être INFÉRIEURE à la valeur
- = : la valeur DOIT être EXACTE.

<b>La (mm)</b>	650
<b>Lo (mm)</b>	1000
<b>H (mm)</b>	500

Table 2 : Valeur des longueurs

#### 4 - Construction

##### *Partie I : Construction du support pour le moyeu*

Le support du moyeu est la pièce centrale qui va permettre de positionner la roue par rapport à la structure et à l'injecteur

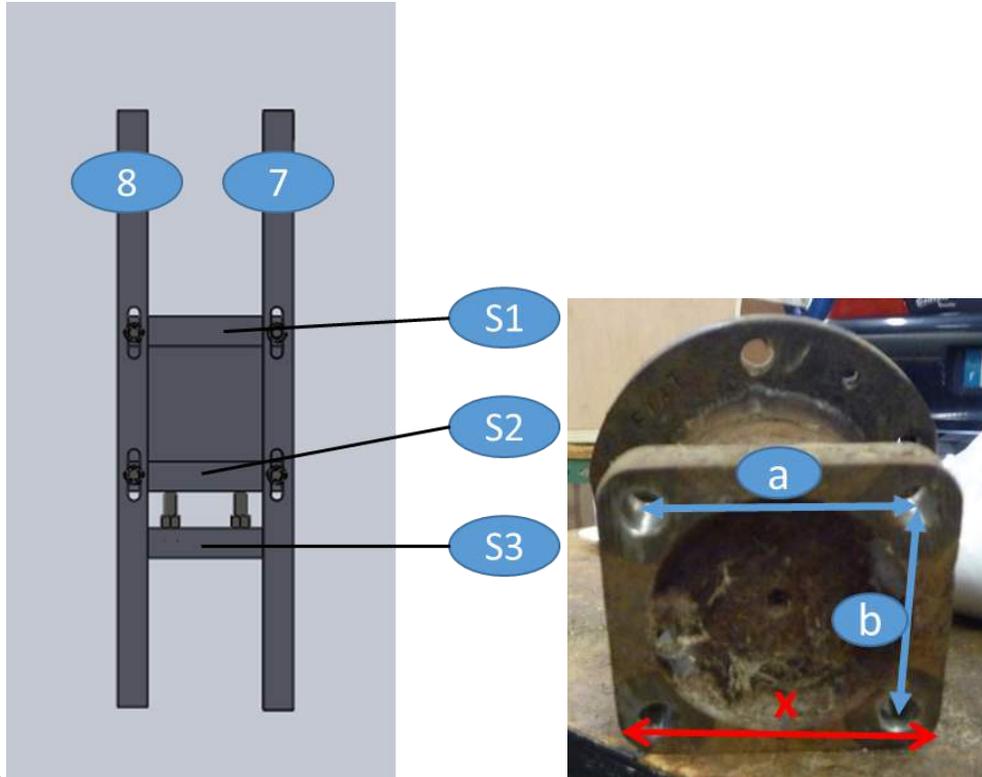


Figure 54 : Paramétrisation du moyeu et son attache

- a. Percer deux trous sur les cornières S1 et S2 pour pouvoir les fixer au moyeu

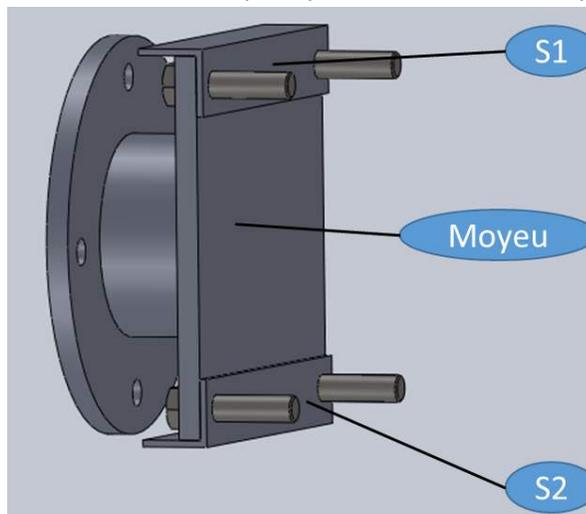


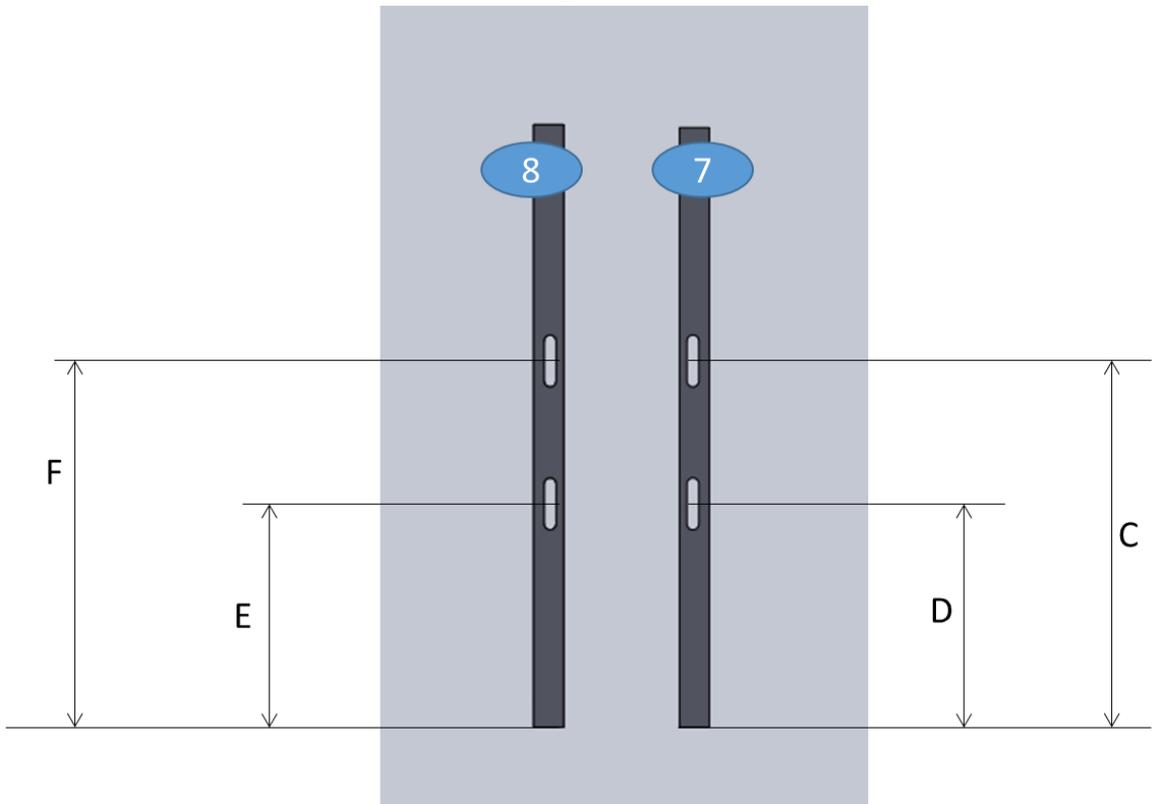
Figure 55 : Numérotation des cornières à fixer au moyeu

- b. Sur la cornière S3 : réaliser deux perçages centrés pour permettre le passage des vis de réglage
- c. Souder ensuite deux boulons sur la partie supérieure de la cornière S3

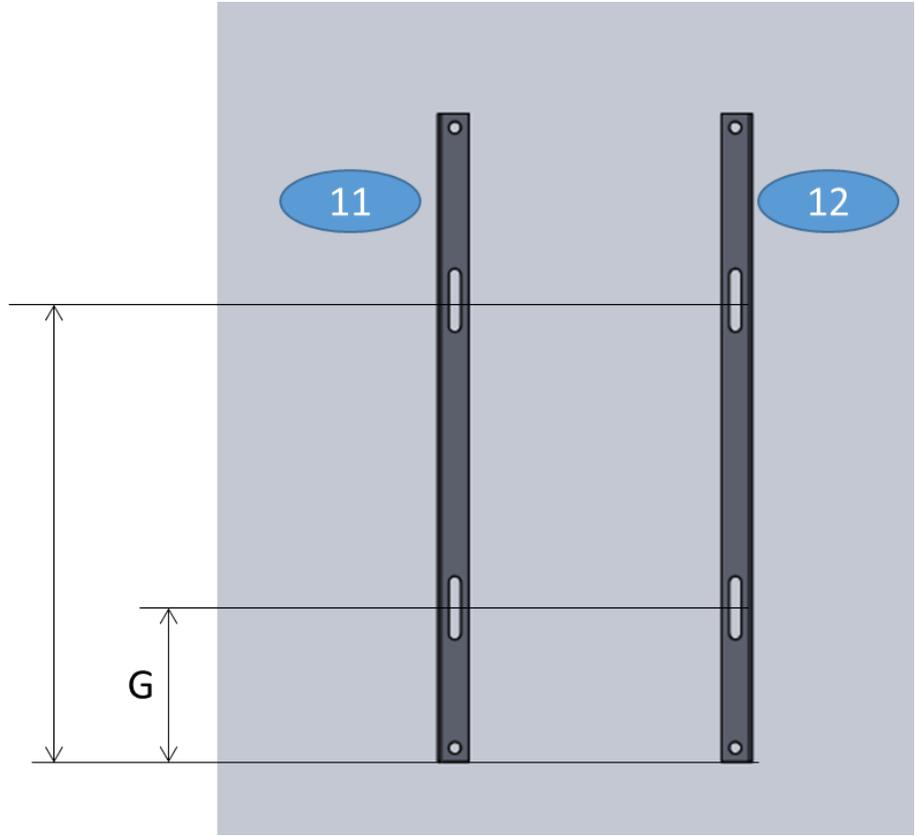


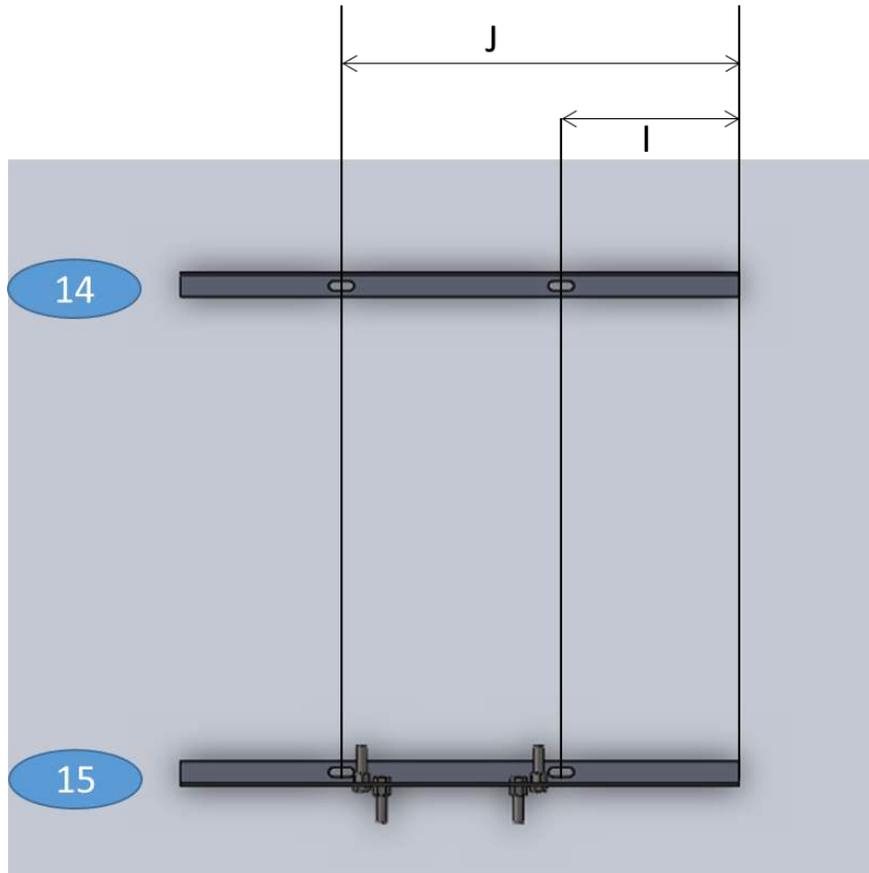
Figure 56 : Soudure des boulons

- d. Réaliser des trous oblongs sur les cornières 7 et 8 pour fixer le moyeu
- e. Repérer les positions du centre des trous oblongs :



H





Longueur du trou oblong

Figure 57, 58, 59 et 60 : Paramétrisation des longueurs pour le oblong

	Positionnement		Longueur trou oblong
<b>C</b>	303 +b/2		20
<b>D</b>	303 -b/2		20
<b>E</b>	303 -b/2		20
<b>F</b>	303+b/2		20
<b>G</b>	320		20
<b>H</b>	453		20
<b>I</b>	234.		20
	5		
<b>J</b>	416.		20
	5		

Table 3 : Valeur des longueurs définis précédemment

Note sur les valeurs du tableau :

- Prévoir au moins 100 mm entre le bas de la roue et le niveau de l'eau sous la roue

- Réaliser un premier perçage en diamètre 12mm environ 2mm en dessous de la marque. Puis en guidant le foret avec un bout d'acier épais, répétez l'opération 2 mm au-dessus de la marque. Finir les trous à la lime pour permettre le bon déplacement du boulon.

Découper la cornière 7 comme indiqué ci-dessous :

### **Partie II : Assemblage**

- a. Mettre en position le moyeu sur la structure, maintenir à l'aide de serre-joints.
- b. Ajouter une cornière ou fer plat en haut pour garantir le parallélisme.



Figure 61 : Moyeu fixé

- c. Vérifier au niveau le parallélisme de tous les éléments puis serrer les boulons de fixation du moyeu
- d. Positionner la cornière de réglage (1c) sous le moyeu :



Figure 62 : Cornière de réglage

- e. Une fois que le parallélisme est assuré souder la cornière de réglage (1c) aux barres 7 et 8.



Figure 63 : Cornière de réglage soudée

Une fois cette pièce réalisée, nous pouvons passer à l'assemblage de la structure. Commencez par le rectangle inférieur (assemblage des cornières 1, 2, 3 et 4) :



Figure 64 : Coin de la structure

- a. Vérifier la perpendicularité des cornières en utilisant une cornière verticalement puis souder les cornières ensemble  
Attention ! Ne pas souder la cornière montante !
- b. Souder ensuite les cornières 5, 6 et 9 au trois coins

Positionner et vérifier le parallélisme de ces cornières à l'aide d'un niveau avant chaque soudure !

- c. Souder le support du moyeu (le moyeu doit être sur le support) à la structure, vérifier le parallélisme des éléments

Remarque :

Le parallélisme des éléments doit être le plus juste possible, mais il est possible de rattraper des petites erreurs lors de la fixation de la partie supérieure.

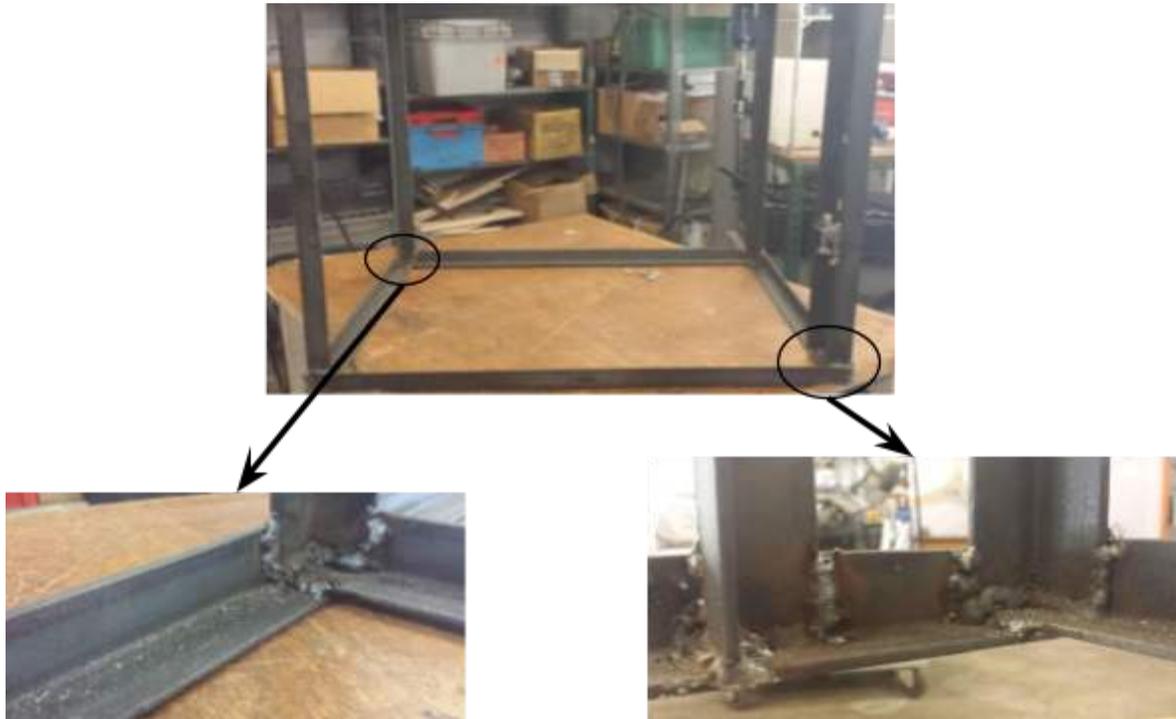


Figure 65 : Le résultat attendu



Figure 66 : Structure finale

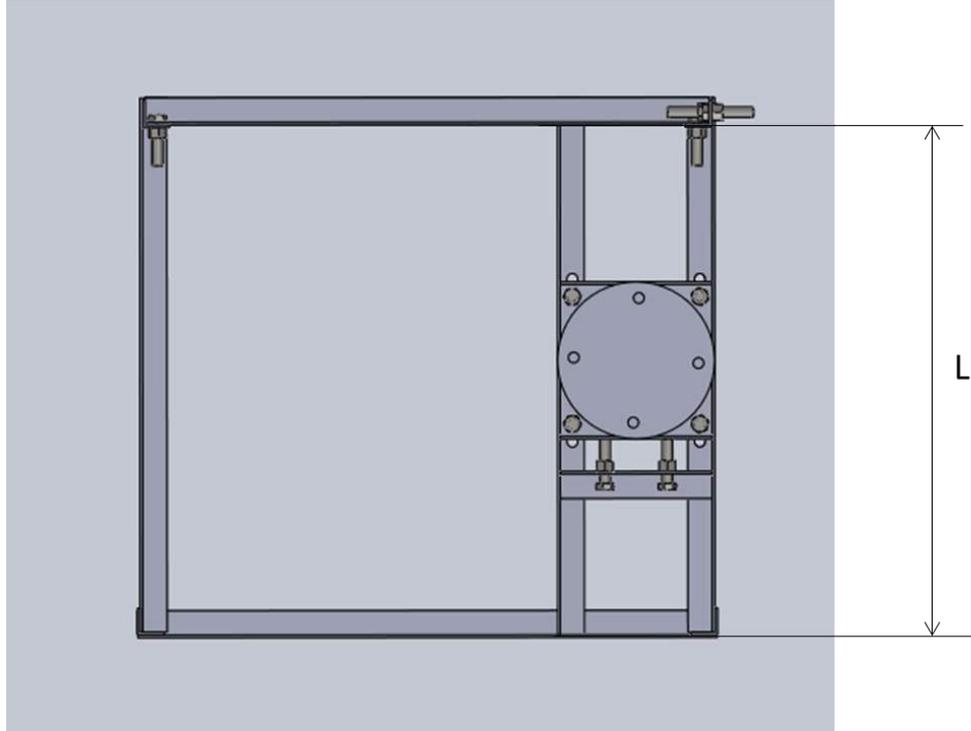


Figure 67 : Vu en plan

- Les 4 cornières supérieures doivent se situer à la même distance des cornières inférieures
- Les cornières verticales doivent toutes être parallèles entre elles et perpendiculaires à toutes les cornières horizontales

#### ***Assemblage de la structure, la roue et l'injecteur***

- a. Positionner l'injecteur entre les cornières 11 et 13, positionner les boulons, les visser SANS serrer.



*Figure 68 : Positionnement de l'injecteur*



*Figure 69 : Injecteur fixé*

- b. Positionner ensuite la roue dans le moyeu à l'aide des 4 points de fixation.



Figure 70 : Positionnement de la roue

- c. Vissez sans serrer les quatre vis de fixation



Figure 71 : Réglage

### Partie III : Réglages

L'objectif est de réduire au maximum le jeu entre l'injecteur et la roue. Pour cela il faut actionner les vis de réglage en faisant tourner la roue pour arriver à un jeu minimal sans frottements entre les deux éléments.



L'action sur ces 2 vis permet le réglage en hauteur de la roue

Figure 72 : Réglage de la roue en hauteur



L'action sur ces vis permet le réglage horizontal de l'injecteur

Figure 73 : Réglage horizontal de l'injecteur

Remarque :

La perpendicularité entre les flasques de la roue et le support du moyeu doit être réalisée le plus finement possible. Néanmoins, il est possible de reprendre ce réglage en agissant sur les boulons de fixation de la roue sur le moyeu (réglage à faire quand la roue est montée).

Il est nécessaire de faire ce réglage lorsqu'on observe un écart entre la roue et l'injecteur qui n'est pas le même sur un tour de roue.

## VI - Plan de prévention

*Une fois le dimensionnement de la conduite, du déversoir, de la turbine et de la partie électrique terminés, le projet s'oriente vers la phase de construction. Cette phase présente des risques de sécurité car il s'agit de travaux quelque peu importants et qui nécessitent l'utilisation d'outils pouvant s'avérer dangereux. De plus, les manipulations à effectuer et les travaux à réaliser peuvent présenter des phases délicates où il faut s'appliquer et utiliser une technique spécifique pour que ce soit efficace et durable.*

*Ainsi, il convient de prévenir les accidents en maîtrisant les risques autant que faire se peut. Il faut donc utiliser les EPI (Equipements de Protection Individuelle) adaptés et prendre les mesures de protection nécessaires.*

### A - Les EPI

Les EPI nécessaires vont varier selon le type de travaux envisagés. Nous allons donc lister celles qui seront le plus à même d'être employées dans le cadre de ce type de projet.

#### 1 - Protection de la tête

Tout d'abord, comme sur tout chantier, il est primordial d'assurer la protection de la tête. Celle-ci comprend le port de plusieurs :



Le casque, qui peut paraître un peu encombrant ou peu utile sur ces petits travaux. Mais, nous pouvons faire face à une planche, une conduite qui tombe ou tout autre incident imprévu, il est donc nécessaire d'en avoir un

Des lunettes ou un masque pour la protection des yeux. Cela sera particulièrement utile lors de l'emploi d'une meuleuse ou autre outil entraînant des projections.



Des protections auditives du type casque ou bouchons d'oreille qui seront utiles lors de l'utilisation de machines bruyantes



Des masques de soudure (on peut être amené à souder dans certaines configurations), et des protections respiratoires du type masques qui seront utiles lors de l'emploi de machine comme une meuleuse ou d'une ponceuse par exemple.



## ***2 - Protection des mains***

Il convient également de protéger les mains qui sont souvent au plus près du danger. Il faut impérativement des gants qui protégeront des coupures, brûlures, incidents en tout genre. On peut prévoir éventuellement des gants de soudure s'il y a beaucoup de soudure à faire.

## ***3 - Protection des pieds et des jambes***

Sur tout chantier, on s'équipe de chaussures de sécurité qui éviteront un écrasement du pied en cas de chute d'un objet lourd. Il est utile dans certaines configurations de chantier de s'équiper de cuissardes ou de waders afin de pénétrer dans l'eau facilement.

Il est possible dans ce type de chantier de rencontrer des tunnels ou des petits canaux remplis d'eau où il faut passer pour avoir des dimensions ou simplement pour l'installation des composants du projet.

## ***4 - Protection du buste***

Pour protéger le corps, il est préférable de se vêtir d'un bleu de travail et d'équipements spécifiques (contre la chaleur, le froid ou ignifugé).

## ***5 - Protections spécifiques***

Les équipements listés précédemment sont les équipements de protection de base indispensables au travail sur ce type de chantier. Cependant, dans certains il faut des équipements plus spécifiques (harnais, ligne de vie, etc,...).

## B - Mesures de prévention

Un des principaux risques auxquels il faut faire face sur ce type de chantier est le risque lié à l'emploi des machines et aux manipulations d'objets lourds. Pour y parer, il faut impérativement respecter le port des EPI adaptés et se former au préalable à l'utilisation des machines. Par exemple, dans notre projet, nous devons utiliser perceuse à colonne, meuleuse, poste à souder et perforateur-burineur essentiellement. Il fallait donc comprendre le fonctionnement et les dangers de chaque machine et même s'exercer à les utiliser (la soudure à l'arc demande un peu de pratique par exemple).

Parfois, il est nécessaire d'utiliser des produits chimiques. Il convient donc de s'assurer d'avoir les EPI adaptés, de respecter les règles de sécurité (comme ne pas respirer les vapeurs toxiques par exemple) et de faire attention à ne pas en déverser dans l'environnement. Par exemple, nous aurions dû utiliser du trichloréthylène pour un dégraissage efficace des sections de conduite et donc un meilleur joint.

Sur ce type de chantier, nous utilisons des machines électriques et nous produisons de l'électricité avec de l'eau avoisinante, ce qui signifie qu'il y a un fort risque électrique. Nous devons donc nous assurer d'éviter le court-circuit et de travailler dans l'eau avec des appareils puissants branchés sur secteur.

## VII - Mise en place de la conduite

*Afin de comprendre les différentes étapes à suivre pour la mise en place de la conduite, nous allons nous baser sur un exemple : celui du projet à Hières-sur-Amby.*

*Ci-dessous, le schéma représentant la conduite d'amenée d'eau à la turbine. A droite, on a un réservoir avec déversoir puis un premier tuyau (tuyau 1) d'une longueur de 2 mètres environ, un coude et le deuxième tuyau qui amène l'eau directement à la turbine.*

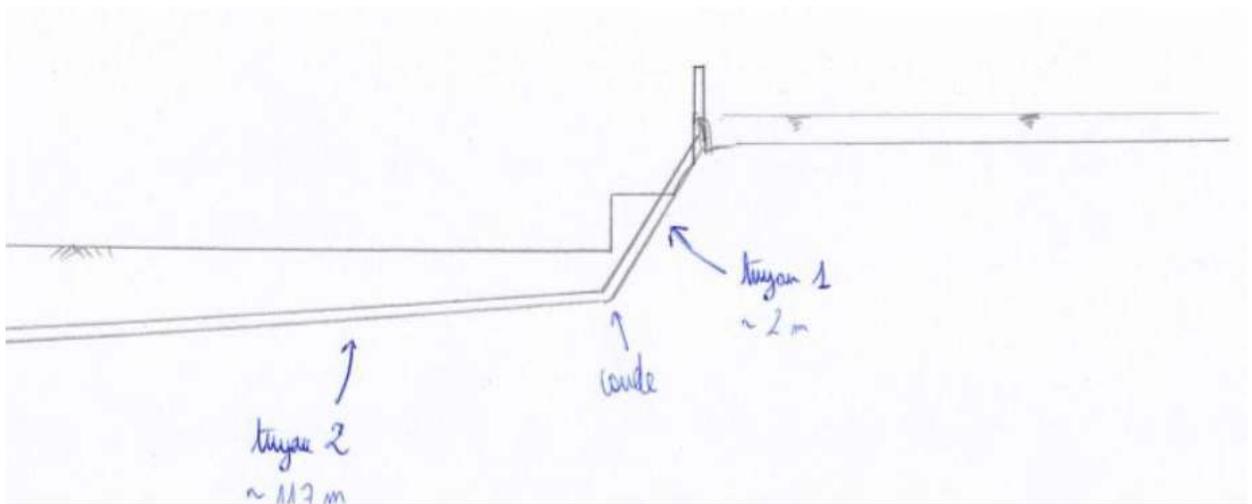


Figure 74 : Schématisation du site

## A - Réalisation en pratique

La construction de l'installation nécessite un certain nombre de consommables et d'outils. Une liste non exhaustive est fournie ci-après. Les prix sont à titre indicatif pour se faire un ordre d'idée. Cependant, ils sont susceptibles de varier dans le temps et en fonction de la qualité de l'outillage envisagé.

Matériel	Prix moyen
papier de verre	12 €
colle PVC rigide	15 €
coudes PVC	/
tuyaux PVC	/
chiffons	/
trichloréthylène	5-6 €
marqueur noir	1-6 €
EPDM en tube	18 €
plaque inox (épaisseur?)	/
Cheilles (diamètre?)	10 €
Vis inox (longueur, dia?)	10-20 €
Rivets inox (longueur?)	10 €
Cornières inox (longueur?)	20-30 € pièce

Outillage	Prix moyen
Meuleuse	80-100 €
Chalumeau oxycoupeur	500 €
disqueuse	200 €
perforateur burineur	130 €
perceuse à colonne	/
Mèche SDS roche/béton (dia?)	13 € pièce
Mèche inox (dia?)	10-20 € p
Pince à riveter	8-20 €
Poste à souder à l'arc	150-200 €

*En bleu, les machines qui ne sont pas forcément de première nécessité*

Dans la liste précédente, l'EPDM sert à l'étanchéité du déversoir. Dans le cas présent, il fait la jonction entre la plaque inox et le béton mais aussi entre la plaque inox et l'entrée de la conduite PVC. Le trichloréthylène sert à dégraisser les sections PVC avant collage. Maintenant, on trouve plus facilement du substitut de trichloréthylène qui est moins performant, parce que le vrai trichloréthylène a un fort potentiel polluant. Le papier de verre permet un léger ponçage du PVC au niveau des raccords pour qu'il soit plus abrasif et donc que la colle tienne mieux.

Il faut rajouter à la liste précédente une perceuse/visseuse basique avec mèches inox pour les petits travaux d'ajustement et de perçage de plaque ainsi qu'au moins trois colliers adaptés à la dimension du tuyau, penser également aux baguettes inox pour la soudure.

Pour la consolidation de la plaque inox qui fera office de déversoir, on utilise des cornières (voir partie associée ci-après) et on assemble le tout, soit avec des rivets, soit en soudant. Nous avons sélectionné la méthode par soudage, car nous disposons du matériel et de quelqu'un qui avait déjà pratiqué. Dans le cas contraire, mieux vaut privilégier les rivets inox et se procurer la pince à riveter.

Tous les outils et machines précédemment cités ont un coût assez important. Il convient de savoir si on en a l'utilité et si on doit l'acheter, l'emprunter/utiliser au FabLab, l'emprunter directement chez le client ou le louer chez des commerçants du type Kiloutou.

D'après le propriétaire, nous disposons d'environ 2h pendant lesquelles l'eau sera déviée vers un autre canal. Avant la déviation, il convient de :

1. Assembler les tuyaux de manière à avoir le tuyau 1 et le tuyau 2 (pré-assemblage des sections).
2. Sur le tuyau 1, mettre en place l'angle (coude ou sections).
3. Consolider la plaque inox qui a déjà été prédécoupée et avec le trou de la conduite (déversoir).
4. Enlever la grille de protection (propre à cette configuration).
5. Enlever la roue (propre à cette configuration : présence d'une roue d'un ancien moulin).

Pendant la déviation, il convient de :

1. Percer les côtés où vient se mettre le déversoir, éventuellement enlever un peu de matière à l'aide du burineur si besoin.
2. Mettre en place la plaque: percer les côtés, cheviller, visser.
3. Ajouter l'EPDM pour l'étanchéité de plaque sur les côtés. Attention: séchage en 30 min mais pas de contraintes dessus tout de suite donc à réaliser assez vite.
4. Mettre en place le tuyau 2 par en bas.
5. Mettre en place le tuyau 1 par en haut.
6. Coller la jonction entre les deux tuyaux (peut-être est-ce réalisable juste par en haut si on a de la visibilité et que le tuyau 2 est tenu en bas).
7. Mettre en place les colliers pour maintenir la conduite.
8. Ajouter l'EPDM sur la jonction entre le tuyau 1 et la plaque.

Toutes ces étapes doivent être réalisées dans un temps, somme toute, très court, donc il faudra répartir le travail de manière à ce que chacun sache exactement quoi faire. Eventuellement, mise en place de la turbine au même moment ou plus tard et remise en place d'une grille de protection en haut de l'écoulement.

## ***B - Techniques intéressantes pour un travail durable, propre et en sécurité***

### ***1 - Collage des tubes PVC***

Il faut un côté mâle et un côté femelle. On nettoie les deux côtés au papier de verre puis avec le chiffon, on passe le trichloréthylène qui assure la propreté de la surface. Ensuite, on applique la colle PVC rigide des deux côtés avec le doigt et on assemble. Attention: la prise est rapide, en moins d'une minute, ça ne bouge plus. Si on utilise les sections PVC pour faire le coude, il faut au préalable réaliser l'angle en emboitant les sections sans les coller puis utiliser le marqueur pour tracer un ou plusieurs traits dans la longueur pour ensuite ne pas se tromper lors du collage.

### ***2 - Perforateur-burineur***

Si la machine ne le fait pas elle-même, rajouter un peu de graisse sur la fixation du foret (empêche l'usure). Tirer la tête en arrière pour mettre le foret en place. Pour un perceur classique, il faut utiliser des forets spéciaux béton et roche du type SDS, SDS+ ou SDS MAX (attention à la compatibilité avec la machine).



Figure 75 : Perceur SDS-Plus

### 3 - Soudure à l'arc

Il faut une plaque de plus de 1 mm sinon ça fond (avec un poste à souder du type inverter ; sinon il faut un TIG ou un MIG) et encore, avec une plaque aussi fine. Il faut vraiment de faibles intensités et être déjà bon soudeur.

Il convient de s'entraîner au préalable. On utilise souvent de l'inox dans les travaux de ce genre, en contact avec l'eau. Il faut donc se procurer des baguettes inox.



Figure 76 : Poste à souder à l'arc

#### **4 - Meuleuse d'angle/disqueuse**

Se munir de différents disques selon l'usage : disques bakélites pour couper de manière classique, disques diamants pour tronçonner les matériaux durs, disques abrasifs pour ponçages grossiers ou l'ébarbage.



Figure 77 : Meuleuse d'angle 125 mm



Figure 78 : Disqueuse 230 mm

#### **5 - Exemple pour le choix des vis et chevilles**

Si on utilise des chevilles de 5 mm (on parle toujours en diamètre, il faut bien sûr que la longueur soit cohérente), il faut percer un trou de 4.8 mm et utiliser des vis de 4 mm.

#### **6 - Utilisation des angles**

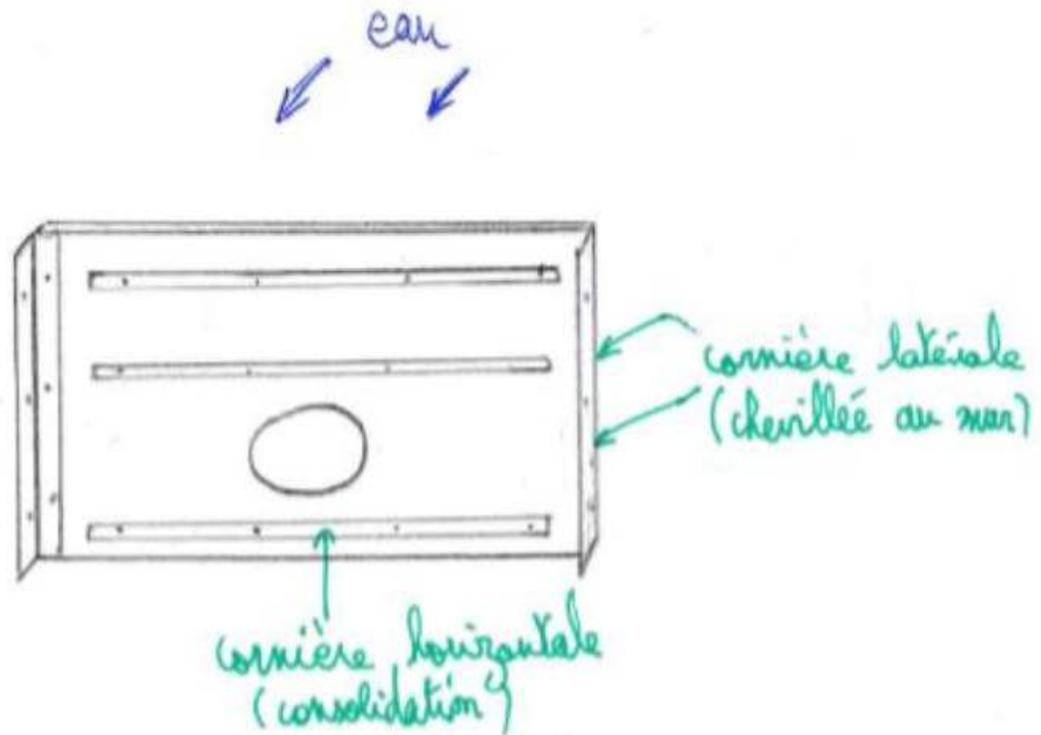
On a deux solutions :

- a. soit on utilise des angles classiques qu'on trouve en magasin qu'on peut ajuster jusqu'à  $\pm 10^\circ$  en pratique (il est possible de les chauffer pour les déformer mais c'est peu recommandé car il y a des risques de boursoufflures à l'intérieur du tuyau, la déformation possible à froid doit suffire)
- b. soit on utilise des sections de tuyaux de très faibles longueurs (qui sont spécifiques car il y a des côtés mâles et des côtés femelles) qui seront assemblées pour faire l'angle désiré (on peut faire n'importe quel angle alors que ceux déjà réalisés sont standardisés)

La difficulté réside dans un bon assemblage. Il faut donc les placer à l'endroit voulu sans les coller et tracer un trait dans la longueur de l'angle pour ensuite coller chaque section une à une en suivant ce trait).

### 7 - Schéma de la plaque

On consolide la plaque avec des cornières placées dans le sens de la largeur, fixées soit par rivets soit par soudure. On déterminera le nombre de cornières en fonction de l'épaisseur de la plaque inox. Les cornières servent aussi à fixer le déversoir aux parois latérales (ici en béton) grâce à des chevilles et des vis.



## VIII - Tests

*Avant l'installation finale de tous les composants du projet, il est nécessaire d'effectuer des tests préalables. Ils permettront de vérifier le bon fonctionnement à court terme des différents éléments. Ainsi, si on constate des problèmes de stabilité, de précision, de vibration, etc... , on peut y remédier au plus vite sans avoir besoin de tout démonter et de faire des trajets supplémentaires jusqu'au lieu d'implémentation.*

### ***A - Test turbine préalable***

Une fois la turbine conçue et construite ainsi que l'injecteur, il faut la tester dans des conditions de fonctionnement les plus proches possibles de ce qu'il y a sur site. On va ainsi pouvoir vérifier qu'il n'y a pas de frottements entre les pièces et que les vibrations induites par la circulation d'eau ne sont pas très importantes ou gênantes. On teste aussi la solidité des pièces à court terme.

On peut procéder de différentes manières suivant ce que l'on a disposition.

La première méthode est celle qui s'approche le plus des conditions réelles. On fait couler l'eau dans la turbine qui a été reliée à un circuit hydraulique dont on peut contrôler le débit. Cela permet de tester la résistance des pièces même à haut débit (débit plus important que le débit nominal de fonctionnement) et de détecter les problèmes de vibration dus à des jeux éventuels par exemple. L'inconvénient majeur est la mise en place du circuit hydraulique avec une pompe.

La seconde méthode consiste à placer la turbine dans un flux d'air. Cela permet de détecter notamment les problèmes de frottements et d'équilibrage de l'ensemble.

### ***B - Test électrique***

On réalise également un test électrique : on fait tourner l'alternateur seul en rotation avec la machine à courant continu. Cela permet la vérification de la production d'énergie (tension, intensité fournies) et du rendement.

Nous développerons les points suivants :

***1 - Faire une liste de matériel nécessaire pour faire le test***

***2 - Choisir la charge en fonction des besoins du test***

***3 - Détailler le protocole de test en charge avec des schémas***

**WORK IN PROGRESS**

### ***C - Test final***

Lors du test final, on joint la turbine à l'alternateur. Ce test permet de vérifier la stabilité et l'équilibrage de l'ensemble dans des conditions les plus proches de la réalité (si possible avec circuit hydraulique). La réussite de ce test conditionne la mise en place finale sur le projet réel.

## ***IX - Installation***

## X - Annexe

### Annexe 1: Tutoriel utilisation logiciel de simulation OpenAFPM

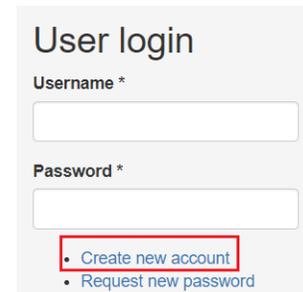
Ce tutoriel a pour but d'utiliser le logiciel OpenAFPM afin de compléter les calculs du dimensionnement de la partie électrique. Il est conçu pour dimensionner un alternateur à aimants permanents pour une éolienne en adéquation au manuel Piggott.

En effet, nous analyserons uniquement certaines données fournies par la simulation afin de s'en servir comme support pour comparer aux valeurs données par le manuel ou bien par nous-mêmes.

Lien du site: <https://www.openafpm.net/>

#### 1) Création du compte

Il faut d'abord commencer par la création d'un compte afin de pouvoir débiter les simulations:



User login

Username \*

Password \*

- Create new account
- Request new password

#### 2) Début d'une simulation

On peut voir ici le menu pour les simulations. Les simulations déjà réalisées sont accessible via [my simulation](#). Pour en débiter une nouvelle, on clique sur [New simulation](#).

Pour notre utilisation, nous sélectionnons [MagnAFPM](#) pour débiter la simulation.



Navigation

- All Simulations
- My Simulations
- New Simulation**
- Design Tips
- Discussion Forum
- User Locations

Sim Engine

Status: **OnLine**

### New Simulation

#### MagnAFPM

Generator design using specific permanent magnet dimensions and a specific blade rotor diameter

#### UserAFPM

Performance of a specific generator geometry and blade rotor diameter using finite element analysis

#### OptiAFPM

Optimization of the permanent magnet dimensions under different performance criteria and for a specific blade rotor diameter

### 3) Paramétrer la simulation

On arrive sur la page pour définir les paramètres de notre simulation. Le logiciel est programmé pour réaliser des tests pour des alternateurs à aimants permanents pour éoliennes. Néanmoins, il s'agit du même type d'alternateur que pour une installation hydroélectrique. Nous allons juste adapter quelques valeurs afin de simuler un alternateur qui correspond à celui de notre installation.

On voit différentes parties de dimensionnement:

Blade Rotor Inputs	Generator Stator Inputs	Generator Rotor Inputs
System Inputs	Financial Inputs	Constants

Pour la partie Blade Rotor Inputs:

Il faut uniquement changer le rayon de l'hélice et choisir la valeur qui correspond à notre installation soit 1 kW donc 1,5 m pour notre cas dans l'option [Turbine Radius](#). Les rayons des hélices avec leur puissance sont détaillés dans le manuel.

Pour la partie Generator Stator Inputs

Dans notre cas, nous utilisons des aimants de types rectangulaire donc il faut mettre rectangular dans l'option [Select Coil Type](#). Quant à l'option [Winding fill factor](#), je préconise de laisser le logiciel calculé celui ci en indiquant calculated. Il en est de même pour le [Stator thickness](#).

Pour la partie Generator Rotor Inputs

On indique bien que nous sommes en double rotor dans l'option [APFM rotor topology](#) avec les caractéristiques de nos aimants (dimensions et type). Comme précédemment pour le stator, on laisse le logiciel calculer le [Rotor disk thickness](#) en indiquant calculated. Enfin, le choix de l'entrefer dans [Mechanical clearance](#) est assez arbitraire et cela dépend uniquement de votre dimensionnement et de ce qui est réalisable. Il est conseillé de réaliser plusieurs simulation afin de tester son impact.

Pour la partie System Inputs

On change la tension dans [System voltage](#) et [Nominal voltage](#) qui correspond à celle de notre tension DC, ici 48V pour notre installation.

Finalement, les autres paramètres restent inchangés car ils sont similaires à notre installation. Il faut regarder en détails si ces paramètres changent par rapport à votre cas (choix des matériaux). Il faut maintenant rajouter un titre à votre simulation pour bien la distinguer:

Title \*

Pour lancer la simulation, il y a plus qu'à cliquer sur save en cochant ou non la case private afin de rendre ou pas votre simulation public.

Privacy options

Private

[Save](#)

#### 4) Analyser la simulation

Une fois votre simulation configurée, le logiciel va lancer la phase de calcul et il faut attendre que celui ci soit completed :

#	Title	Sim type	Sim status	Date	Sim Time	
6359	<a href="#">Essaie avec entre fer 1mm</a>	MagnAFPM	Completed	08/05/2020 - 15:12	00:00:45	<a href="#">Delete</a>

En cliquant sur notre titre, on peut alors observer le résultat. Tous les paramètres calculés par le logiciel sont affichés et il faut observer ceux qu'ils nous intéressent.

Par exemple, la simulation affiche le champ magnétique présent dans notre alternateur :

Flux density in airgap	0.622193 T	Bmax
Flux density on magnet surface	0.672733 T	Bmg
First harmonic of flux density in airgap	0.439114 T	Bp

Il y a également le nombre d'enroulement nécessaire pour le bobinage avec l'épaisseur des fils de cuivres.

Number of turns per coil	104	Nc
Copper wire diameter	1.7 mm	dc

Enfin pour réaliser une autre simulation en changeant uniquement une ou plusieurs variables (comme l'entrefer par exemple), on clique sur Clone simulation afin de pouvoir relancer une simulation.

## Essaie avec entre fer 1mm

---

*Submitted by polato on Fri, 08/05/2020 - 15:12*

**Simulation type:** MagnAFPM

**Simulation status:** Completed

**Duration:** 00:00:45

[Clone this simulation](#)

## ***XI - Contacts***

Pour toute question particulière, contactez les auteurs de ce document :

Hugo QUILLIOU <[Hugo.Quilliou@grenoble-inp.org](mailto:Hugo.Quilliou@grenoble-inp.org)>

FAYARD Vincent <[Vincent.Fayard@grenoble-inp.org](mailto:Vincent.Fayard@grenoble-inp.org)>

Dorian SCHNEIDER <[Dorian.Schneider@grenoble-inp.org](mailto:Dorian.Schneider@grenoble-inp.org)>

Olmo VILLEGAS <[Olmo.Villegas@grenoble-inp.org](mailto:Olmo.Villegas@grenoble-inp.org)>

Ozgur POLAT <[Ozgur.Polat@grenoble-inp.org](mailto:Ozgur.Polat@grenoble-inp.org)>

Paul AMRANE <[Paul.Amrane@grenoble-inp.org](mailto:Paul.Amrane@grenoble-inp.org)>

Enyo PETERSCHMITT <[Enyo.Peterschmitt@grenoble-inp.org](mailto:Enyo.Peterschmitt@grenoble-inp.org)>

Arthur MULLER <[Arthur.Muller@grenoble-inp.org](mailto:Arthur.Muller@grenoble-inp.org)>

## ***XII - Bibliographie***

Le tableur de dimensionnement :

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1UZ-PuWwY7KaYI4-9asupOv6eqvTY6DuwwsFw11jlogU/edit#gid=47508277>

BALCET Nicolas, Introduction Banki, 2019, la présentation sera en fichier joint du rapport.

PIGGOTT Hugh, RÉSEAU TRIPALIUM, Construire une éolienne, 2015, <https://www.tripalium.org/>

Projet d'ingénierie 32, Turbine Hydr'Open, 2018

Logiciel de dimensionnement en ligne, OpenAFPM, <https://www.openafpm.net/>

***THE END***

***That's all folks !***

