

Filière Systèmes industriels

Orientation Design & Materials

Diplôme 2014

Grégoire Sauthier

*Développement d'une pico-turbine
hydraulique pour alimenter des stations
de mesures environnementales
en zone de haute montagne*

-  *Professeur*
Cécile Münch-Alligné
-  *Expert*
Eric Travaglini
-  *Date de la remise du rapport*
11.07.2014

SI	TV
X	X

<input checked="" type="checkbox"/> FSI <input type="checkbox"/> FTV	Année académique / Studienjahr 2013/14	No TD / Nr. DA dm/2014/57
Mandant / Auftraggeber <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input checked="" type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>	Etudiant / Student Grégoire Sauthier	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>
	Professeur / Dozent Cécile Münch-Alligné	
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja ¹ <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) Eric Travaglini CREALP Rue de l'Industrie 45 1950 Sion	

Titre / Titel

Développement d'une pico-turbine hydraulique pour alimenter des stations de mesures environnementales en zone de haute montagne

Description / Beschreibung

Le centre de recherche sur l'environnement alpin, le Créalp, actif dans le domaine de la surveillance environnementale et des dangers alpins, souhaite pouvoir alimenter des capteurs situés en haute montagne. Le but de ce travail sera de concevoir et de réaliser une pico-turbine hydraulique afin d'alimenter en électricité différents capteurs installés. Le défi d'un tel travail réside dans le fait d'assurer une fiabilité dans un environnement alpin hostile.

Les étapes principales du travail sont :

- Achat de certains éléments d'une petite turbine iso-cinétique existant sur le marché : moteur électrique et régulation.
- Développement d'une roue hydraulique pour la pico-turbine
- Conception mécanique adaptée pour augmenter la robustesse de la pico-turbine
- Développement d'un système de fixation de la turbine en rivière
- Fabrication de la roue, des nouvelles pièces mécanique et du système de fixation de la pico-turbine
- Montage de l'ensemble
- Installation sur le site pilote.

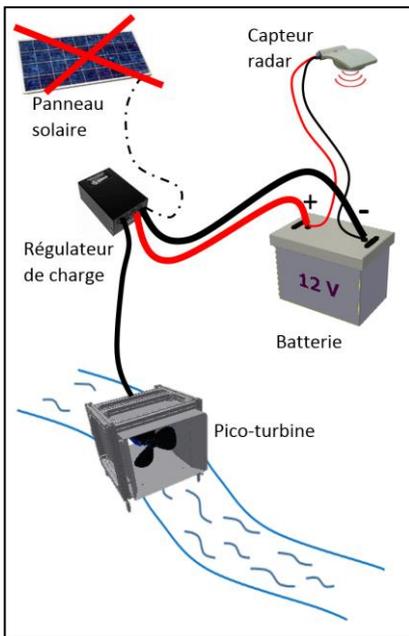
Signature ou visa / Unterschrift oder Visum

Responsable de l'orientation
Leiter der Vertiefungsrichtung:¹ Etudiant / Student :

Délais / Termine

Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:
12.05.2014Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:
11.07.2014, 12:00Expositions / Ausstellungen der Diplomarbeiten:
27 – 29.08.2014Défense orale / Mündliche Verfechtung:
Semaine | Woche 36

¹ Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.
Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.



Turbine hydraulique en rivière

Diplômant/e Grégoire Sauthier

Objectif du projet

Le but de ce projet est de concevoir et de réaliser un système autonome utilisant l'énergie hydraulique des eaux d'une rivière pour alimenter des stations de mesures environnementales en zone de montagne pour le CreAlp.

Méthodes | Expériences | Résultats

Dans un premier temps, un état de l'art des turbines hydrauliques de faible puissance (< 1 kW) a été réalisé. Le choix s'est porté sur les turbines iso-cinétiques afin de satisfaire le cahier des charges ; pas de chute, pas de travaux possibles.

Une turbine «Ampair UW100 » fournissant une puissance de 100 W et son régulateur de charge ont été sélectionnés et commandés. Le matériel a été testé en laboratoire afin de caractériser les performances de la machine électrique.

En partenariat avec le CreAlp, un site pilote a été défini et des mesures du potentiel hydraulique y ont été menées : vitesses et hauteurs d'eau disponibles.

Un travail de design a ensuite été fait pour augmenter la robustesse de l'ensemble et permettre son implantation dans la rivière. Afin de réduire les coûts et le temps de fabrication, la conception a été simplifiée au maximum ; le châssis est fait avec des profilés Item, le carénage augmentant le flux qui passe dans la turbine a été conçu et réalisé avec des tôles pliées.

Après la fabrication et le montage, des tests à sec et en rivière ont confirmé le bon fonctionnement du système. Des améliorations restent possibles au niveau du carénage et du système de fixation.

Travail de diplôme | édition 2014 |

Filière
Systèmes industriels

Domaine d'application
Design & Materials

Professeur responsable
Cécile Münch-Alligné
cecile.muench@hevs.ch

Partenaire
CreAlp



Figure 1 : Site d'implantation dans les gorges de la borgne, à 1,5 Km en amont du village de Bramois
 Vitesse courant 0.2-2 m/s
 Hauteur d'eau : 30-50 cm

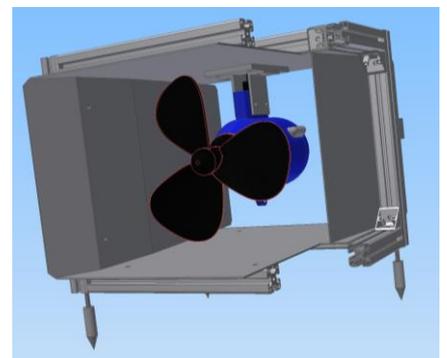


Figure 2 : Vue en coupe de la turbine développée
 Puissance max. de la turbine Ampair : 100 W à 2000 tr/min
 Dimensions du cadre : 416 x 430 x 490 mm

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	1
1.1	Cadre du projet.....	1
1.2	Objectif.....	1
1.3	Cahier des charges.....	1
1.4	Localisation du site pilote.....	2
2	ETAT DE L'ART	3
2.1	Grandeurs de références et formules de base.....	3
2.2	Micro-turbines basses chutes.....	5
2.3	Pompes inversées.....	6
2.4	Roues à aubes.....	7
2.5	Vis d'Archimède.....	9
2.6	Turbines iso-cinétiques.....	10
2.7	Synthèse.....	14
3	SÉLECTION DE LA TURBINE	15
3.1	Critères quantitatifs.....	15
3.2	Critères qualitatifs.....	15
3.3	Classification des critères.....	15
3.4	Choix d'un système de turbinage.....	16
3.5	Turbine sélectionnée.....	17
4	CONCEPTION MÉCANIQUE	19
4.1	Châssis.....	19
4.2	Carénage.....	21
4.3	Matériaux.....	23
4.4	Fabrication.....	23
5	MESURES	24
5.1	Site pilote.....	24
5.1.1	<i>Mesures du site en amont du pont</i>	24
5.1.2	<i>Mesures du site en aval du pont</i>	25
5.1.3	<i>Synthèse des mesures du site pilote</i>	26
5.2	Performance de la génératrice.....	27
5.2.1	<i>Protocole de mesures</i>	27
5.2.2	<i>Formules</i>	28
5.2.3	<i>Mesures à vide</i>	28
5.2.4	<i>Mesures en charge</i>	29

5.2.5	<i>Synthèse des mesures</i>	33
5.3	Mesures de performances de la turbine sur le site pilote	34
5.3.1	<i>Protocole de mesures</i>	34
5.3.2	<i>Instruments</i>	34
5.3.3	<i>Résultats</i>	35
6	SYNTHÈSE DU PROJET	38
6.1	Conclusion	38
6.2	Perspectives	38
7	REMERCIEMENTS	39
8	RÉFÉRENCES	40
9	ANNEXES	40

1 INTRODUCTION

1.1 Cadre du projet

Le milieu alpin est en constante mutation. A grande échelle ce sont les mouvements tectoniques qui créent des changements de la configuration alpine. Ceux-ci peuvent s'étaler sur plusieurs millions d'années. Cependant, certaines conséquences se déroulent dans un temps beaucoup plus réduit. Des éboulements peuvent intervenir lors de séismes ou d'instabilités de terrain et représentent une menace pour les zones habitables. Les nombreux cours d'eau parcourant le Valais figurent aussi parmi les dangers potentiels. Après un orage, il faut s'attendre à de subites montées des eaux, des crues voir même des laves torrentielles.

Créé en 1968, le centre de recherches sur l'environnement alpin (CreAlp) mène des projets dans le domaine des géosciences. Il aborde notamment la problématique de la surveillance environnementale et des dangers naturels (hydrologie et géologie).

Les stations de mesures installées par le CreAlp sont principalement alimentées par l'énergie solaire. Malgré cela, il arrive que l'ensoleillement soit insuffisant ou que tout simplement la neige recouvre les cellules photovoltaïques.

Le but de ce projet est donc de trouver une alternative à l'énergie solaire en profitant du potentiel hydraulique fourni par la nature et qui souvent se trouve à proximité des stations de mesures.

1.2 Objectif

L'objectif du projet est de concevoir et de réaliser une pico-turbine hydraulique afin d'alimenter en électricité différents capteurs de mesures géologiques.

1.3 Cahier des charges

- Extrêmement simple et robuste
- Large plage d'utilisation (-30 °C à +30 °C)
- Débits à disposition : faible 1-1.5 m³/s, fort 20-30 m³/s
- Niveau de prise d'eau pouvant changer brutalement (2-3 m)
- Puissance électrique de sortie <100 W
- Pente minimale à disposition 2 %
- Fonctionnement toute l'année
- Sécurité envers des tierces personnes
- Pas de travaux de génie civil
- Pas de possibilité d'enterrer le système (conduite y compris)
- Limite du poids (transportable à dos d'homme)

1.4 Localisation du site pilote

Le site retenu par le CreAlp pour les essais se trouve sur la rivière de la Borgne au début du val d'Hérens. Il se situe environ 1.5 km en amont de la centrale hydroélectrique de Bramois.

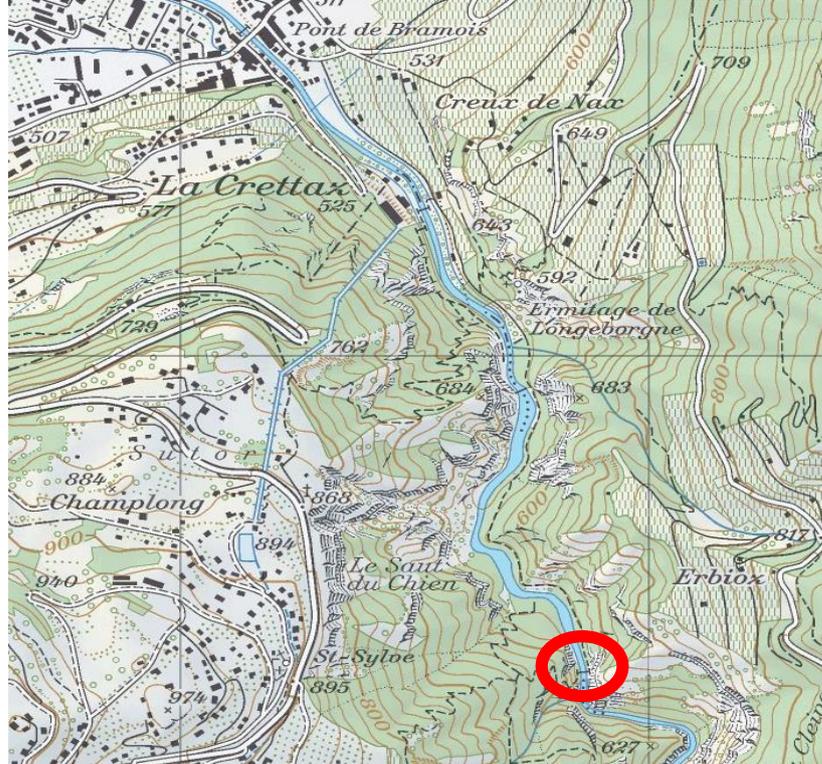


Figure 1 : Plan du site de la Borgne

A proximité d'un pont se trouvent deux dépressions dans lesquelles il pourrait être intéressant de placer la machine. Grâce à celles-ci, le système serait plus protégé que s'il était au milieu de la rivière. Le pont offre un excellent point de fixation pour les différents capteurs de hauteur d'eau.



Figure 2 : Site de la Borgne

2 ETAT DE L'ART

2.1 Grandeurs de références et formules de base

La puissance hydraulique à disposition est calculée comme suit :

$$P = \rho * Q * g * H \quad (1)$$

ρ : Masse volumique [kg/m³]

Q : Débit [m³/s]

$g = 9.81$ [m/s²]

H : Hauteur de chute nette [m]

Cette équation permet de trouver la chute qu'il faut avoir à disposition pour produire une puissance définie, et ainsi de définir quel mode de turbinage est le mieux adapté.

Il est très important de rappeler que la puissance hydraulique n'est de loin pas comparable à la puissance électrique qui sort d'une machine. La puissance hydraulique exprime le potentiel maximal d'énergie qui peut être retiré le long d'un flux. Dans la réalité on sait qu'il n'est pas possible de transformer toute l'énergie disponible en électricité. Tout au long du processus (hélice-paliers-alternateur...) des pertes apparaissent. Des exemples montrent que pour les petites machines la différence peut aller jusqu'à 70 %. Celle-ci est exprimée par le rendement.

Le rendement global en pourcentage d'une turbine est donné par la relation suivante :

$$\eta = \frac{P_{\text{électrique}}}{P_{\text{hydraulique}}} * 100 \quad (2)$$

Dans un premier temps, le débit ainsi que la chute à disposition sont les deux paramètres du cahier des charges qui vont définir les différents types de turbines pouvant être utilisées, voir Fig. 3.

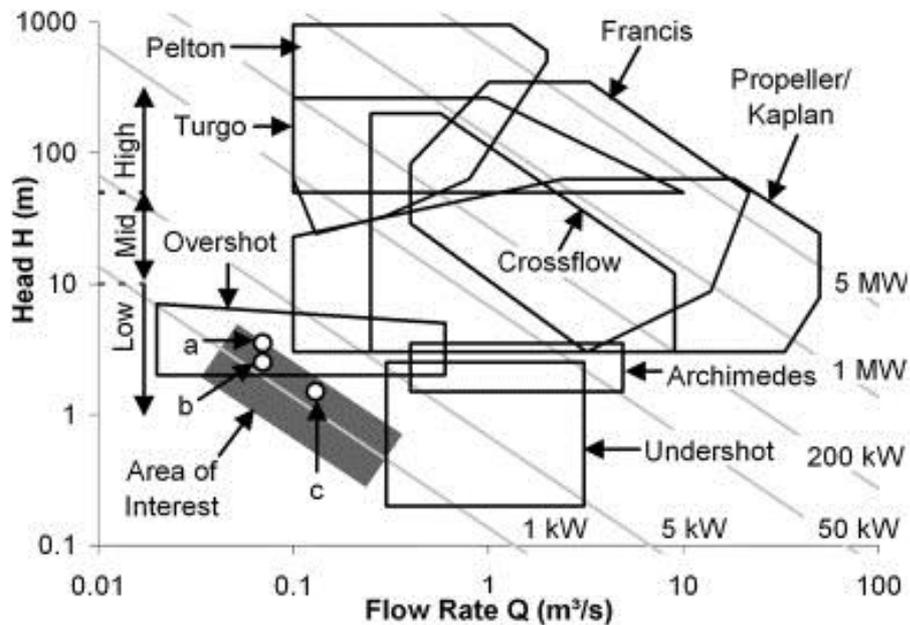


Figure 3 : Classification des turbines en fonction du débit et de la chute ^[ref. 1]

Avec au minimum 2 % de pente et un débit compris entre 1-1.5 m³/sec, la machine devra être adaptée à la pico-hydraulique.

Comme le montre la figure ci-dessus, les grandes turbines habituelles (Pelton, Francis Kaplan) sont totalement inadaptées. Il faudra se concentrer principalement sur les turbines très basses chutes.

Les recherches sont effectuées à partir des données du cahier des charges. C'est-à-dire, faible puissance, faible débit et faible chute. Les différents types de turbines sont présentés ci-après.

2.2 Micro-turbines basses chutes

Basées sur des géométries de turbines Francis, des systèmes prêts pour la micro-hydro se trouvent sur le marché. Comme montre la figure 4, le principe est de créer un canal d'amenée. L'eau à débit constant va pouvoir être turbinée grâce à la différence de hauteur entre les deux niveaux de surface libre.



Figure 4 : micro turbine basses chutes PowerPal ^[ref. 2]

La puissance électrique minimale à disposition sur le marché est de 200 W. Ces systèmes ont été conçus pour les pays en voie de développement et sont donc robustes et très simples d'utilisation.

La chute et le débit minimaux requis sont respectivement de 1.5 m et 0.035 m³/s. Pour installer cette turbine, il est nécessaire de dévier le cours d'eau et de faire des travaux de génie civil. La température d'utilisation ne doit pas être inférieure à 5 °C.

Parmi les fabricants, il y a : PowerPal (Canada), PowerSpout (revendeur basé à martigny), Energie Douce (France).

2.3 Pompes inversées

Le principe d'une pompe est de faire tourner une roue qui va pomper l'eau. Certaines géométries de machines permettent de les utiliser en mode turbine. En injectant un flux sur les aubes, il est tout à fait possible de récupérer une énergie mécanique.

Le graphique ci-après montre les plages d'utilisation pour les pompes inversées. Les débits minimaux turbinables peuvent être très petits ($0.005 \text{ m}^3/\text{s}$). Par contre, les chutes à disposition ne doivent pas être plus faibles que 4m. Les puissances productibles sont de l'ordre de 1 KW pour les plus petites machines.

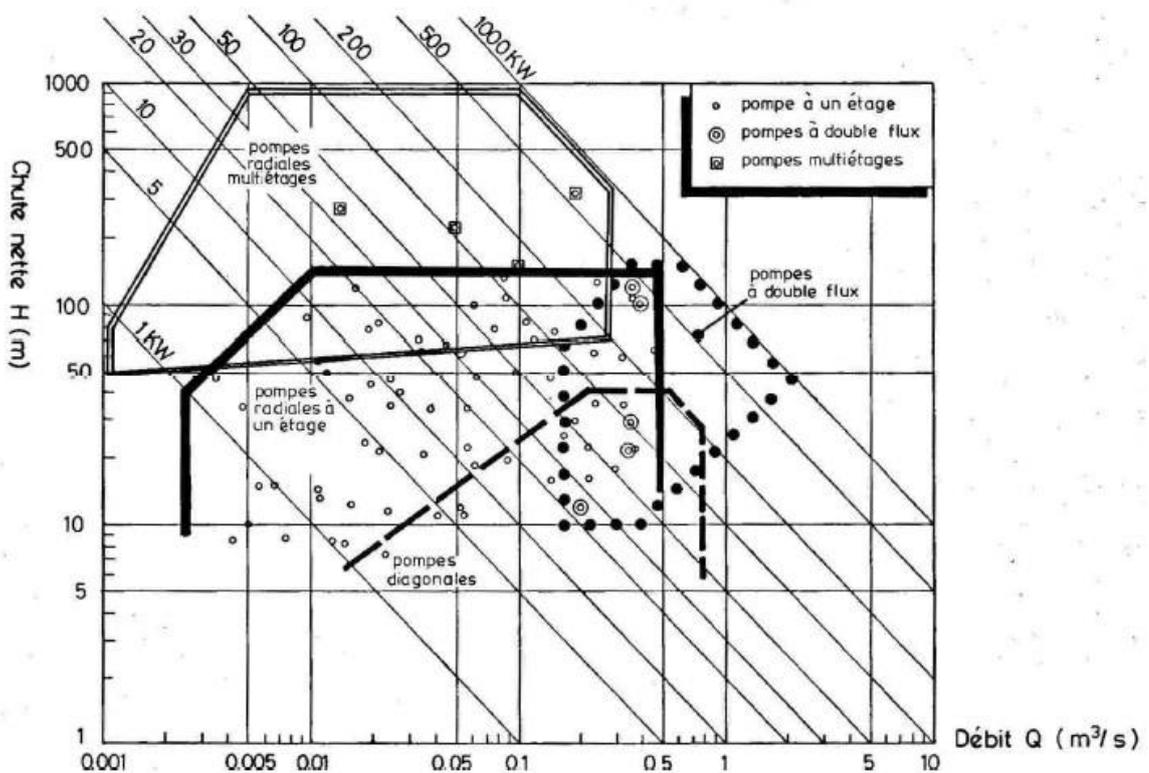


Figure 5 : Domaine d'utilisation des pompes inversées ^[ref. 3]

L'installation d'une pompe en mode turbine nécessite bien entendu la déviation du cours d'eau et des travaux de génie civil. En général les rendements ne dépassent guère 70 % contre 90 à 95 % pour une turbine normale.

L'intérêt vient du fait que les systèmes sont relativement bon marché vis-à-vis d'une installation normale.

2.4 Roues à aubes

Les roues à aubes figurent parmi les systèmes les plus simples. Utilisées depuis plus de deux mille ans, elles permettent de convertir facilement l'énergie hydraulique en énergie mécanique.

La puissance est calculée en fonction de la chute. La figure 6 montre une roue par-dessus. Dans ce cas, c'est la chute de l'eau que va entraîner la roue.



Figure 6 : Roue à aube par-dessus [ref. 4]

Pour les roues par-dessous, seule l'énergie cinétique de la rivière est récupérée pour mettre la roue en rotation. Dans ce cas, la possibilité de monter la turbine sur des flotteurs offre l'avantage de pouvoir s'adapter aux différences de niveaux de la rivière, comme le montre le croquis ci-après.

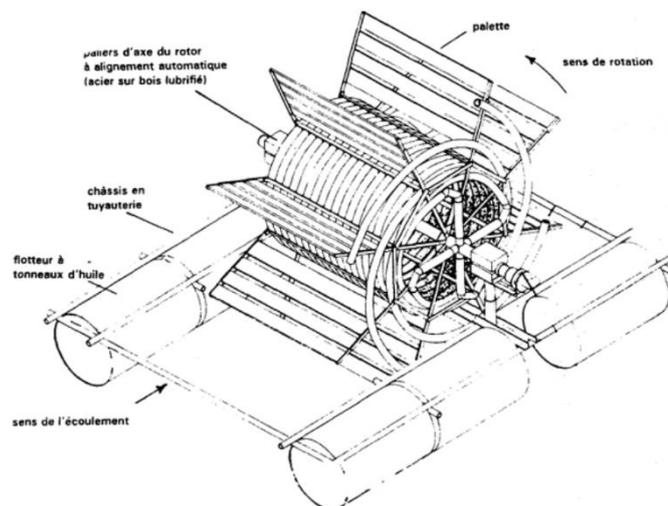


Figure 7 : Roue à aube par-dessous [ref. 5]

Il faut aussi noter que dans ce cas, si le niveau est insuffisant, la roue peut frotter par terre et s'endommager ou s'arrêter.

La puissance cinétique de l'eau qui arrive contre une pale se calcule de la manière suivante :

$$P_{cin} = \frac{1}{2} * \rho * A * C^3 \quad (3)$$

ρ : Masse volumique [kg/m³]

A : Surface [m²]

C : Vitesse de l'écoulement [m/s]

En faisant l'hypothèse qu'une surface de 10 cm par 50 cm de la roue soit immergée, on peut calculer la puissance pour des vitesses de 0.5 à 5 m/s. La puissance cinétique du courant est respectivement de 3.125 W et 3125 W.

Il faut relever que si la profondeur immergée est de 10 cm seulement, la roue sera bien plus grande. On ne peut pas poser l'axe de la roue à fleur de la surface de l'eau. On imagine alors les proportions que va prendre la machine.

En ajoutant encore une grille de protection sous la roue, on pourrait atteindre une hauteur de 40 cm pour le système complet, comme le montre la figure 8.

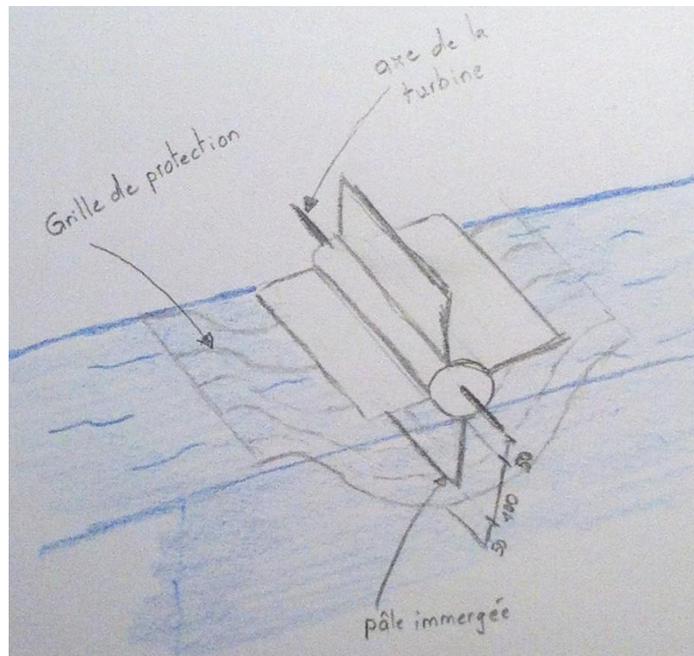


Figure 8 : Schéma roue par dessous

2.5 Vis d'Archimède

En appliquant une charge sur une vis d'Archimède, on arrive à obtenir un mouvement de rotation. Il est donc possible de turbiner de l'eau à l'aide d'un tel système. La figure 9 montre le principe général de fonctionnement du système.

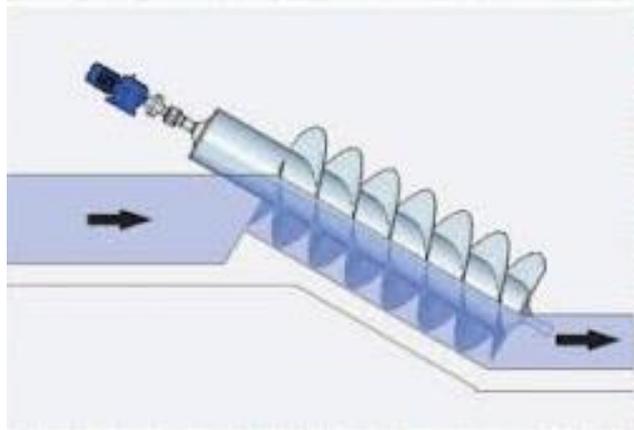


Figure 9 : Principe turbine vis d'Archimède [ref. 6]

Ce genre de turbine offre une très grande robustesse. Elle est très peu sensible aux alluvions et aux objets étrangers. Néanmoins, il est indispensable d'avoir un débit constant et de dévier le cours d'eau pour installer le système. Cela implique de devoir réaliser des travaux d'aménagements. Il faut aussi penser qu'elle n'est pas totalement immergée et donc sensible au gel.

En général, pour avoir un bon rendement, il faut turbiner de grands débits. Il existe des installations qui ont été miniaturisées. Le cas pratique présenté dans la figure ci-dessous a été réalisé aux Pays-Bas avec 1m de chute, un débit minimum de $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ et un diamètre de vis de 320 mm. On obtient une puissance hydraulique de 196 W.



Figure 10 : Turbine holland micro Archimedes screw [ref. 7]

La puissance hydraulique se calcule à l'aide de la relation (1). En prenant un débit de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ et une puissance de 100 W, on obtient une hauteur de chute théorique de 10 cm.

L'exemple cité montre une puissance produite de 160 W pour une hauteur de 1m et un débit de 0.02 m³/s. L'équation (2) donne un rendement de 81.6 %.

Cependant, toutes les théories se regroupent autour de la même idée. Il devient presque impossible de turbiner quoi que ce soit en dessous d'une hauteur de chute de 1m et à petits débits (<0.5 m³/s). En effet, le poids de l'eau n'est plus suffisant pour vaincre les frottements de la machine et entraîner la roue.

Il est important de préciser que si le débit minimum de la rivière est de 0.1 m³/s, il n'est absolument pas possible de capter toute l'eau pour la turbiner. Il faut donc tenir compte de ce paramètre lors du dimensionnement de la turbine.

2.6 Turbines iso-cinétiques

Les turbines iso-cinétiques permettent de récupérer l'énergie cinétique de l'eau. Elles fonctionnent en les plongeant directement dans un flux d'eau et sont comparables à des éoliennes fonctionnant avec de l'eau.

A plus grande échelle, elles servent à turbiner les courants de marée. Dans ces cas-là, elles sont plus communément appelées hydroliennes.

La figure 11 montre le principe de circulation du flux dans la turbine.

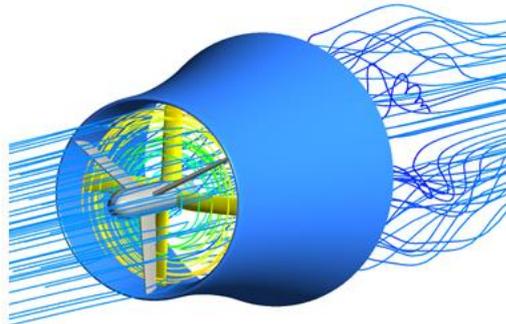


Figure 11 : Turbine iso-cinétique ^[ref. 8]

Il existe au Brésil un projet (SMARTHYDROPOWER voir ref. 7) où une machine de ce type a été installée. Elle fait environ un mètre de diamètre pour une puissance électrique nominale de 5 KW. Comme on peut le voir dans la figure 12, ce modèle est directement placé dans la rivière. Avec ses deux flotteurs, il s'adapte parfaitement aux changements de niveaux du cours d'eau.

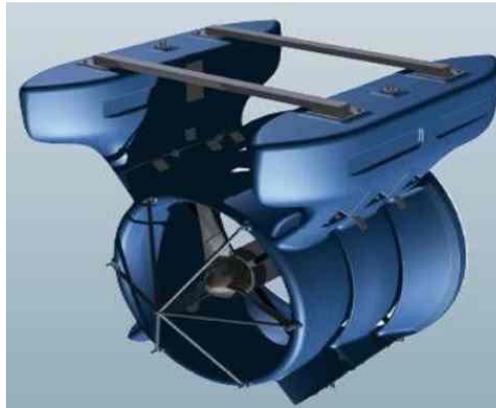


Figure 12 : Turbine iso-cinétique [ref. 9]

Dans un autre ordre de grandeur, mais toujours basées sur le même principe, il existe des petites turbines. Leur forme s'apparente plus à une turbine bulbe, sauf que seule l'énergie cinétique de l'eau est récupérée.

Le fabricant anglais Ampair (www.ampair.com) propose une turbine (modèle UW 100 [1]) de 312 mm de diamètre pour une puissance maximale de 100 W. Comme on le voit sur la figure 8, le concept est relativement simple. Le débit minimum requis est de 1.5 m³/s. Le prix de ce genre d'appareil se situe aux alentours de 1580 CHF.

Les principaux avantages de ces turbines sont leur flexibilité. On peut les adapter facilement d'un cours d'eau à l'autre. Elles nécessitent pas de grands travaux d'implantation et sont très peu sensibles au froid vu qu'elles sont constamment immergées.

La puissance de ce type de turbines se calcule d'après la formule du rendement de Betz :

$$P_{hydro} = 0.6 * \frac{1}{2} * \rho * \pi * R^2 * C^3 \quad (4)$$

ρ : Masse volumique [kg/m³]

R : Rayon de l'hélice [m]

C = Vitesse moyenne du courant [m/s]

H : Hauteur de chute nette [m]

Le facteur 0.6 correspond au rendement de Betz. Cette loi mise en valeur par l'allemand en 1919, dit que la puissance théorique récupérable par une hélice est égale au 16/27 de la puissance hydraulique traversant un disque de la même taille que l'hélice à un instant donné.

A partir de cette équation, on peut définir la vitesse pour un diamètre et une puissance fixés.

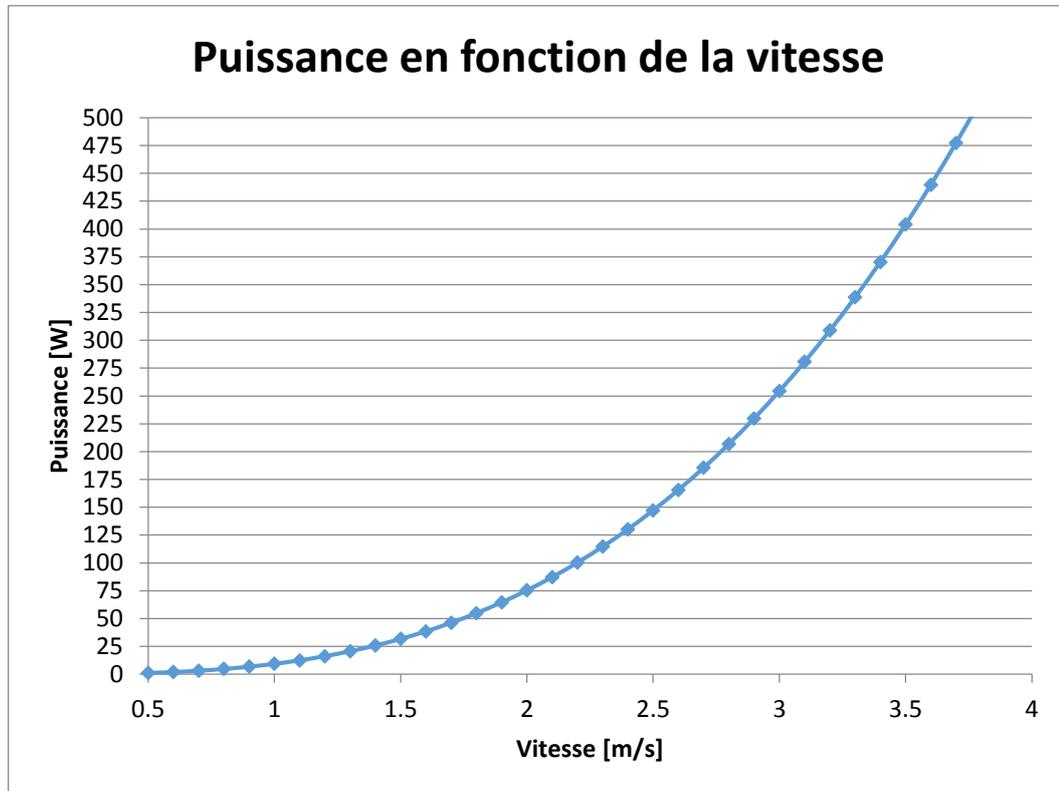


Figure 13 : Calcul de la puissance pour un diamètre fixe

La figure 13 montre la puissance possible que l'on peut produire à différentes vitesses pour un diamètre fixé à 20 cm.

On observe qu'aux alentours de 1.5 m/s, on dépasse déjà une puissance hydraulique produite de 20 W. On en déduit également qu'en dessous de 1 m/s, la puissance fournie devient insignifiante (quelques Watts) et serait insuffisante pour alimenter le système.

Toujours avec l'équation (4) et en fixant cette fois le débit à 2 m/s, on obtient le graphique ci-après.

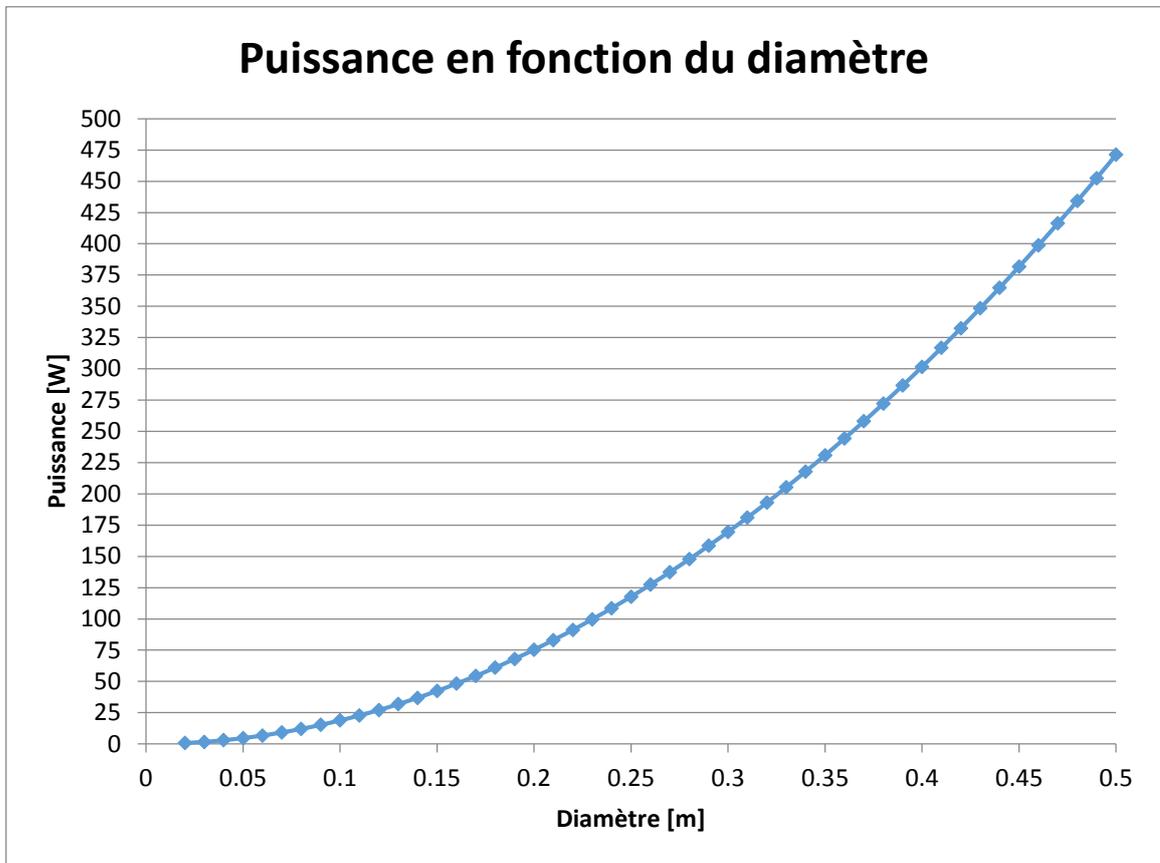


Figure 14 : Calcul de la puissance pour un débit fixe

La courbe montre la puissance en fonction de différents diamètres. Ainsi, pour produire 20 W, l'hélice doit avoir un diamètre minimum de 10 cm. En pratique, l'exemple de la turbine Ampair donne une puissance électrique de 100 W pour un diamètre de 31 cm ^[1].

Le calcul montre qu'un diamètre de roue d'environ 24 cm suffit à fournir une puissance hydraulique de 100 W.

A l'aide de l'équation (2) et des courbes caractéristiques transmises en annexe ^[1] on peut calculer un rendement d'environ 30 % pour la turbine Ampair.

2.7 Synthèse

	En rivière	Prise d'eau	Sans chute	Insensibilité au froid
Micro-turbines	Non	Oui	Non	Non
Pompes inversées	Non	Oui	Non	Oui
Roues à aubes	Oui	Oui	Oui	Non
Iso-cinétiques	Oui	Oui	Oui	Oui
Vis Archimède	Non	Oui	Non	Oui

Tableau 1 : Synthèse des caractéristiques des machines

A l'aide du tableau ci-dessus, on remarque que tous les systèmes proposés permettent de produire de l'électricité pour un faible débit et une faible chute. La grande différence se fait sur la nécessité ou non de faire des travaux de génie civil. Seules les turbines iso-cinétiques et les roues à aubes par dessous permettent de s'implanter directement dans un cours d'eau.

Il faut prévoir une chute pour les micro-turbines, les pompes inversées ainsi que les vis d'Archimède.

La résistance au froid est aussi primordiale. Si la turbine vient à être bloquée par de la glace, il n'y aura fatalement pas de production électrique. Seules les turbines totalement immergées sont protégées contre ce phénomène.

3 SELECTION DE LA TURBINE

Afin de choisir le mode de turbinage le plus approprié, il est indispensable d'établir une liste des critères de sélection. Ceux-ci se divisent en deux groupes : quantitatifs et qualitatifs. Tirés principalement du cahier des charges, ce sont eux qui vont définir la machine la plus adaptée à l'utilisation prévue.

3.1 Critères quantitatifs

Large plage de température : l'installation de la turbine en milieu alpin implique des conditions climatiques extrêmes. En été et sans vent, la température peut facilement monter jusqu'à 30 °C alors qu'en hiver elle est largement négative (-30 °C voir moins).

Débits à disposition : faible 1-1.5 m³/sec, fort 20-30 m³/sec

Pente minimale : 2 %

Puissance électrique de sortie : d'après le mandant, une puissance de 20 W suffirait à alimenter les capteurs. Pour prendre un peu de marge et assurer en plus la recharge de la batterie, il a été décidé de fixer la plage de production entre 20 et 100 W.

3.2 Critères qualitatifs

Robuste et simple : l'environnement où sera installée la turbine est hostile, il se peut que la turbine soit emportée par le courant ou que des pierres soient charriées dans l'eau. La machine doit être le plus simple possible et extrêmement résistante.

La sécurité pour les tierces personnes : il est indispensable de prévenir tout accident car le système est autonome et sans surveillance.

Fonctionnement toute l'année : les emplacements potentiels de la turbine ne sont pas accessibles toute l'année, le fonctionnement doit être garanti 365 jours par an.

Pas de travaux : afin de préserver l'environnement alpin, aucun travaux de génie civil ainsi que d'enterrement de conduite ne sont autorisés.

Limite de poids : les emplacements ne sont pas toujours accessibles par route. Les éléments du système doivent pouvoir être transportés à dos d'homme

3.3 Classification des critères

La puissance hydraulique dépend beaucoup de la chute et du débit à disposition. Le fait de ne pas pouvoir entreprendre de travaux est aussi important. Certains systèmes ne peuvent pas fonctionner sans aménagements.

La température d'utilisation limite aussi les moyens de turbinages. On ne peut pas concevoir quelque chose à l'air libre car le risque de gel est trop important surtout l'hiver. En plus de bloquer la roue et de ne plus produire d'électricité, il y a de grandes chances d'avoir des casses.

La classification se fait donc en fonction de la possibilité de produire une puissance et des difficultés d'implantation. Dans un second registre, elle devra s'adapter aux exigences environnementales et climatiques.

Les critères de sélection sont donc classés par rapport à leur importance dans le tableau suivant :

Critères de sélection	Importance	Classement
<i>Large plage de températures</i>	***	4
<i>Débits à disposition</i>	***	3
<i>Pente minimale</i>	****	2
<i>Puissance électrique de sortie</i>	**	5
<i>Robuste et simple</i>	**	6
<i>La sécurité pour les tierces personnes</i>	*	9
<i>Fonctionnement toute l'année</i>	**	7
<i>Pas de travaux</i>	****	1
<i>Limite de poids</i>	**	8

**** : très important
* : peu important

Tableau 2 : Classification des critères de sélection

On se rend compte que deux paramètres sont déterminants dans le choix du mode de turbinage. L'impossibilité d'effectuer des travaux et la pente, quasi nulle, à disposition verrouillent énormément les recherches. Toutes les machines nécessitant des aménagements externes d'envergure ne sont donc pas acceptables. S'il faut absolument une chute, la machine ne sera pas non plus retenue.

3.4 Choix d'un système de turbinage

En regroupant les caractéristiques des différents modes de turbinage avec les critères de sélection on peut déjà faire un premier tri et supprimer plusieurs solutions.

Les micros-turbines basse chute ainsi que les pompes inversées peuvent être éliminées directement. Nécessitant respectivement 1.5 et 5 m de chute minimum, et beaucoup d'aménagements extérieurs, elles ne rentrent absolument pas dans le cahier des charges. En plus ce cela, le prix et le poids des pompes en mode turbine sont beaucoup trop élevés pour l'utilisation prévue. De leur côté, les micro-turbines ne fonctionnent pas en dessous de 5 °C. Ce qui est un grave problème lorsqu'approche l'hiver. Il est donc impossible de choisir ces types de turbinage.

La solution de vis d'Archimède paraît très intéressante pour sa robustesse. Un calcul de dimensionnement a permis définir que pour une puissance hydraulique de 20 W, la chute théorique serait d'environ 10 cm. Cependant, la puissance électrique qui nous intéresse est de 20 W. En admettant que le rendement global est de 30 % (ce qui est réaliste pour des micro-turbines), on obtient à l'aide des équations (1) et (2) une hauteur de chute de 0.33 m.

On comprend pourquoi la théorie nous dit qu'il est impossible de turbiner des chutes inférieures à 1 m. De plus, ce type d'installation nécessite impérativement un canal d'amenée. Les turbines à vis d'Archimède ne sont donc pas non plus utilisables pour l'application prévue.

Du côté des roues à aubes, seules les roues par-dessous sont intéressantes. La version par-dessus demande obligatoirement un canal d'amenée ainsi qu'une chute. Le cahier des charges n'est donc pas respecté.

L'autre variante permet de récupérer seulement l'énergie cinétique de l'eau. Par contre les puissances produites sont relativement faibles par rapport à la taille de la machine. Si le niveau est à son minimum (~10 cm) la puissance produite risque d'être quasi nulle. De plus un tel système est relativement sensible au froid. Une grande surface de la roue ainsi qu'une partie du carénage ne sont pas immergés. En cas de températures largement négatives, de la glace se formera et bloquera le système. Au pire des cas, de la casse pourra survenir.

Si une telle solution est envisagée, il est important de penser à protéger les aubes de la roue à l'aide d'une grille pour éviter que des pierres n'endommagent la roue. La taille du système peut également poser problème si des branches ou même des arbres seraient charriés dans la rivière. La roue a de fortes chances d'être emportée. Le dimensionnement effectué a permis de mettre en valeur que la machine devient vite grande pour peu de puissance produite.

La solution offrant le meilleur compromis est sans aucun doute celle de la turbine iso-cinétique. Se plaçant directement dans le flux, elle ne récupère que l'énergie cinétique de l'eau et ne nécessite donc pas de chute et pas de travaux de génie civil. Il suffit de prévoir un point d'ancrage hors de la rivière. Ceci permet également de limiter les points d'accroche si des branches sont charriées dans la rivière. Ce type de turbine fonctionne complètement immergée. Ceci constitue une bonne protection contre les attaques du froid. Il faudra la dimensionner de telle manière qu'elle soit immergée même lors des débits les plus faibles. Afin de prévenir toute collision avec des pierres il faudra penser à mettre une grille à l'avant.

3.5 Turbine sélectionnée

Le choix final se porte donc sur une micro turbine iso-cinétique. La taille de celle-ci sera adaptée en fonction de la hauteur d'eau minimale à disposition. La production de courant devra se faire à débit et vitesse variables. Pour éviter au maximum les dommages avec les pierres dans la rivière, une grille sera installée à l'avant. Il sera aussi indispensable de mettre un gros accent sur la robustesse de la machine. Dans un milieu hostile comme la montagne, il faudra tout faire pour la rendre solide.

Deux possibilités s'offrent pour développer le système : concevoir la machine complète en incluant le développement mécanique ainsi que toute la partie électrique, ou partir d'un système existant et l'adapter pour le rendre le plus robuste possible.

Après avoir effectué quelques recherches dans les deux orientations et après concertation avec les responsables du CreAlp, l'option de commander un système déjà prêt a été retenue. Ceci permettra de réduire les coûts et de diminuer le travail de conception ainsi que les temps d'usinage.

Actuellement le marché offre beaucoup plus de machines produisant quelques kilowatts que de turbines fournissant une centaine de Watts et moins. Seule la turbine UW100 du fabricant Ampair en Angleterre correspond au cahier des charges. Le revendeur suisse, maurelma.ch a fourni l'offre transmise en annexe [2].

Le prix s'élève à 1591 CHF, TVA et frais de port compris. Le montant sera pris en charge en partie par le CreAlp et par la HES-SO Sion.



Figure 15 : Micro-turbine Ampair UW100 [ref. 10]

4 CONCEPTION MECANIQUE

Afin de minimiser les coûts et les temps de fabrication, la conception du premier prototype sera extrêmement simple.

Tous les dessins d'usinage et d'ensemble sont fournis en annexe [4].

4.1 Châssis

Pour faciliter l'usinage et le montage, le choix s'est porté sur une structure faite avec des profilés extrudés de type Item comme présenté dans l'image ci-dessous.

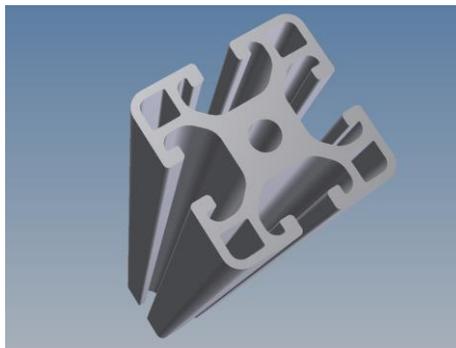


Figure 16 : Profilé Item 40x40

Afin de limiter les coûts, les éléments seront découpés dans des barres récupérées qui sont à disposition au laboratoire d'hydraulique. La section des profilés mesure 40x40 mm.

La structure est composée d'un cadre carré. Sur le haut, un élément est ajouté afin de porter la turbine sur deux points et empêcher la torsion quand le flux impose sa force contre l'hélice.

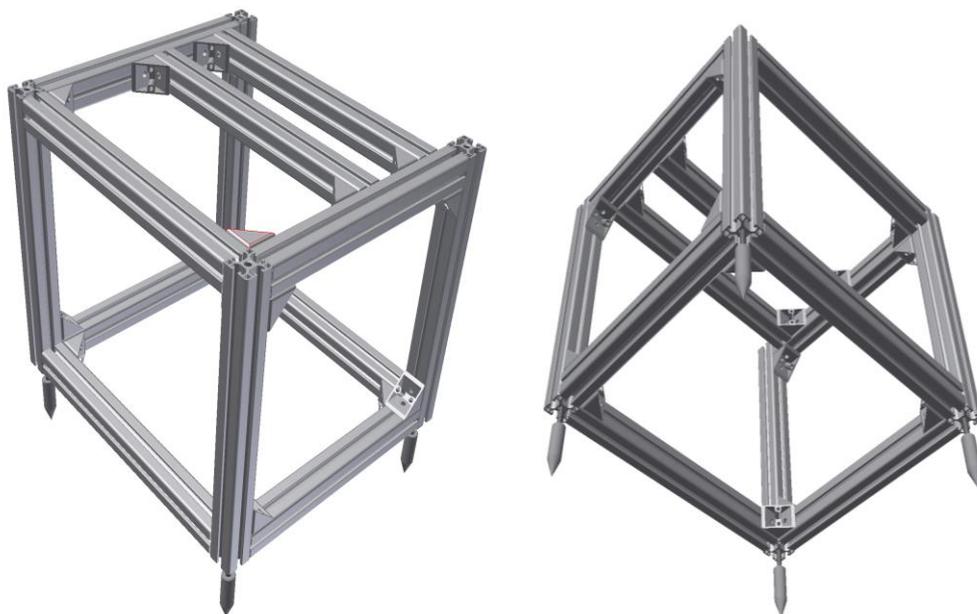


Figure 17 : Châssis

Les profilés sont assemblés au moyen de fixations équerres (figure 18). Ceci permet un montage et démontage rapide tout en assurant la position des différents éléments par rapport aux autres. Aucun usinage n'est requis en plus de la mise en longueur.



Figure 18 : Equerres de fixation pour les profilés

Un système de pieds réglables a été ajouté afin d'ancrer la turbine dans la rivière. Pour augmenter la sécurité, des anneaux de fixation ont été ajoutés sur le haut du châssis pour amarrer la turbine. La figure suivante montre les deux éléments de sécurité.

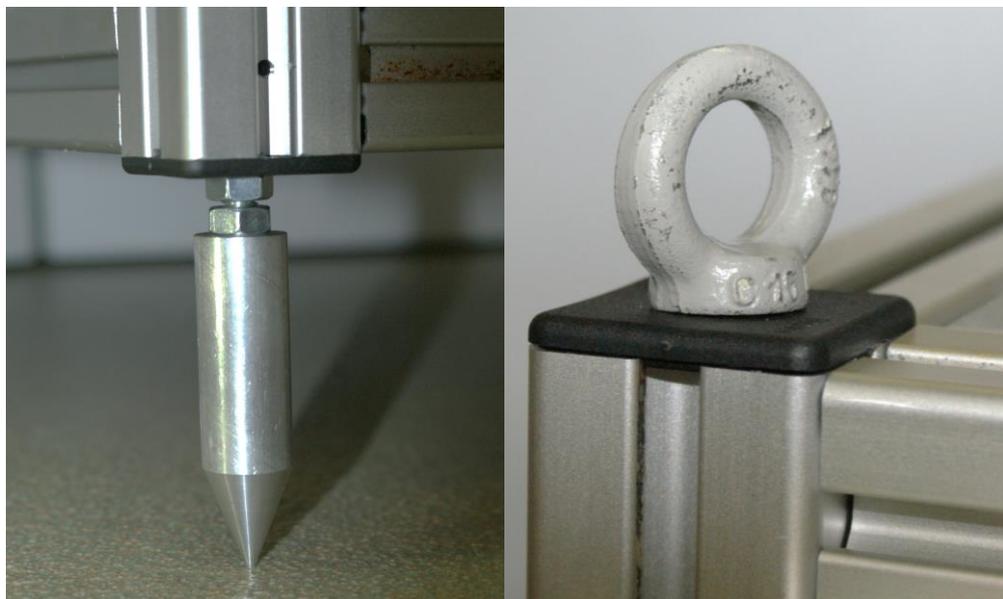


Figure 19 : Pied et anneau d'amarrage

4.2 Carénage

Afin d'augmenter le flux traversant la roue de la turbine et ainsi augmenter la puissance mécanique produite, un carénage a été ajouté à la turbine. Ce carénage est constitué :

- d'une entrée convergente pour accélérer le flux en amont de la roue. La théorie fixe un angle d'entrée entre 30 et 35° degré au maximum. Afin de réduire la longueur du système, l'angle a été fixé à 30°.
- d'une partie droite au niveau de la roue ;
- d'une sortie divergente en aval de la roue pour ralentir l'écoulement en sortie et augmenter l'énergie hydraulique disponible aux bornes de la turbine. L'angle ne doit pas dépasser 7° pour éviter les décollements qui génèreraient des pertes d'énergie. Cette valeur a été prise en compte pour le dimensionnement.

A noter que l'entrée et la sortie doivent être de la même largeur pour que l'eau entrante ait la même vitesse que l'eau sortante.

L'idéal pour capter le maximum d'énergie hydraulique est une section circulaire. L'énergie hydraulique est ainsi répartie sur toute la surface de manière identique.

Pour le prototype, la décision a été prise de faire une section carrée pour diminuer le temps et les coûts d'usinage.

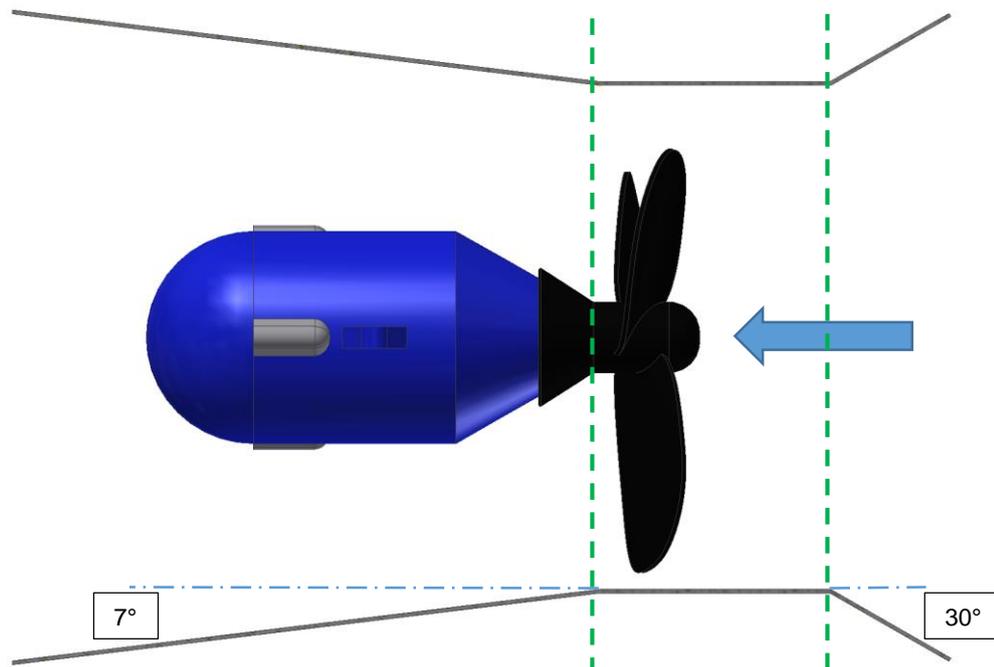


Figure 20 : Profil iso-cinétique de la turbine

L'image ci-dessus montre une coupe horizontale du système et la flèche indique le sens du courant. Seules les parois latérales comportent les angles indiqués précédemment. Les trois zones sont bien visibles ; réduction de section à droite, zone parallèle au flux au centre et à gauche l'aspirateur de sortie.

Les tôles supérieures et inférieures seront plates. Leur fixation au châssis est assurée par des galets insérés dans les rainures des profilés Item. Des cales intermédiaires ont été ajoutées entre les montants et les plaque latérales afin d'optimiser le positionnement de ces dernières (voir fig. 21).



Figure 21 : Cales de plaques latérales

La turbine est tenue au châssis par deux équerres et une plaque intermédiaire. Cette dernière est montée sur les deux barres transversales du châssis. L'image suivante montre le système de fixation.

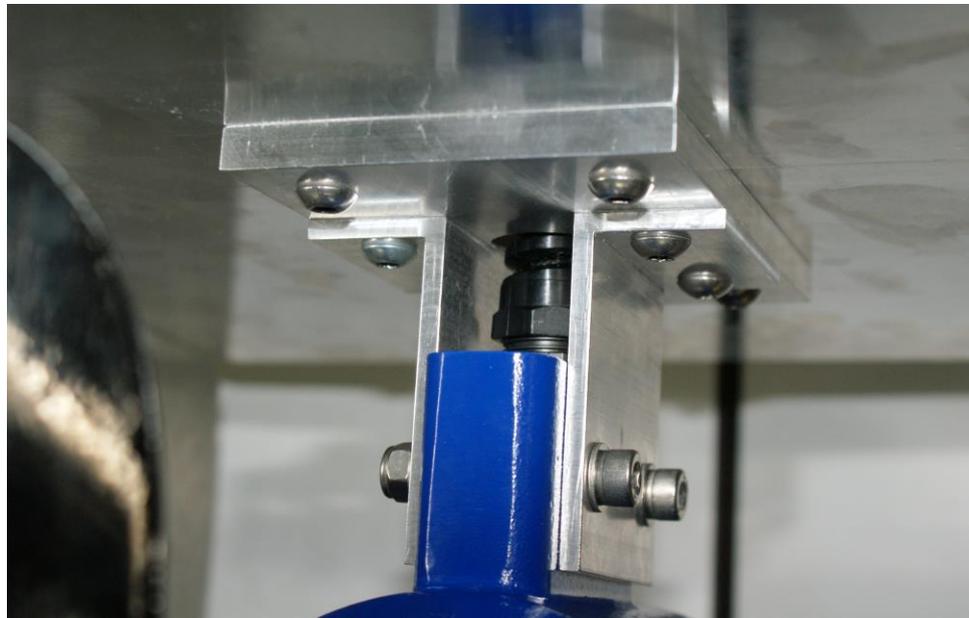


Figure 22 : Système de fixation de la turbine

La visserie utilisée pour monter l'ensemble est choisie en fonction des disponibilités de l'atelier. Dans la mesure du possible, des vis à tête bombées doivent être utilisées afin de perturber le moins possible l'écoulement.

4.3 Matériaux

Pour éviter les problèmes de corrosion, l'ensemble doit résister aux attaques environnementales. Il est donc indispensable d'utiliser des matériaux tels que l'aluminium ou l'acier inoxydable. Pour des questions de poids et de prix, l'aluminium est choisi pour les pièces qui nécessitent un usinage. Ce dernier est aussi plus aisé qu'avec de l'inox. Les temps de fabrication sont aussi plus courts.

A noter que le corps de la turbine est également en Aluminium.

L'environnement où sera placé l'ensemble est également propice à l'apparition de corrosion galvanique. En effet, lorsque deux métaux différents entrent en contact, un effet de pile se produit. Celui-ci est accentué quand ils sont baignés dans un liquide électrolytique. L'eau chargée de sédiments véhicule bien les ions qui sont échangés entre les deux matériaux. Selon leur place dans la série galvanique, de la corrosion apparaîtra sur le métal le moins noble. Afin de lutter contre ce phénomène, il faut choisir des couples de métaux très proches dans la série galvanique ou tout faire dans un seul métal.

La turbine n'étant qu'un prototype, il est acceptable d'utiliser des métaux différents, à condition de bien sécher les éléments en fin d'utilisation.

Le châssis ainsi que les pièces usinées seront en aluminium, les galets de fixation Item en acier et la visserie en fonction des disponibilités de l'atelier : une partie en acier galvanisé et l'autre en acier inoxydable.

4.4 Fabrication

La fabrication du prototype est assurée par l'atelier mécanique de la HES-SO de Sion. Les frais d'usinage sont inclus dans le travail de diplôme et donc pris en charge par l'école.

L'exécution a été faite selon les directives et les dessins transmis. Une erreur a été commise à l'usinage sur la plaque du fond. Deux trous ont été percés au mauvais endroit. Pour éviter les perturbations de l'écoulement il faudrait boucher les trous avec du silicone. La figure suivante montre la turbine complètement montée.

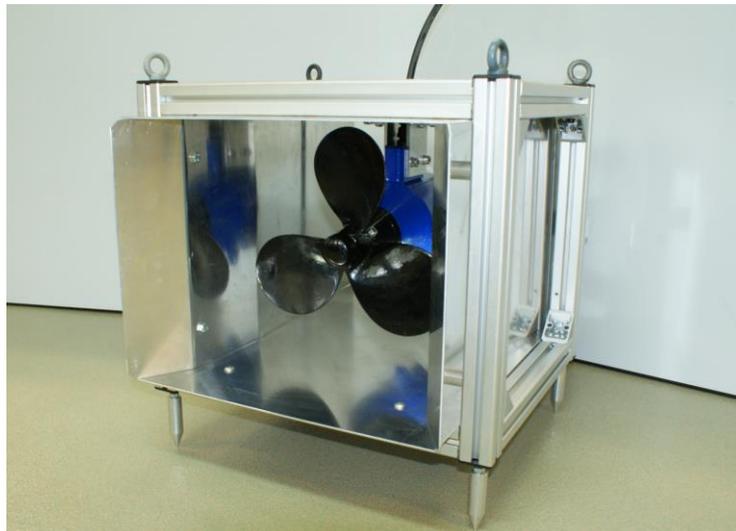


Figure 23 : Turbine avec Châssis

5 MESURES

5.1 Site pilote

Afin de pouvoir choisir l'endroit le plus adapté, il a été nécessaire d'effectuer des mesures de vitesse dans la rivière. A l'aide de l'appareil Nautilus C2000 + Senza Z300 N°0120745 (précision $\pm 1\%$, de 0.009 à 3.5 m/s) emprunté au laboratoire de mécanique et hydraulique de Pascal Grand, un profil de vitesse en amont et en aval du pont a été établi. Les mesures ont été faites par temps couvert mais sec. La qualité de l'eau était bonne avec seulement de fines particules en suspension.

Les paramètres de l'appareil sont les suivants :

- ◆ Langue : Français
- ◆ Mode de mesure : Moyenne
- ◆ Temps de mesure : 20 secondes
- ◆ R5232 : Non
- ◆ Son : Non

Les réglages ont été faits selon les conseils de M. Pascal Grand du laboratoire de mécanique et hydraulique.

5.1.1 Mesures du site en amont du pont

L'image ci-après montre le premier emplacement en amont. Il se situe sur la rive droite de la rivière et est protégé par un renflement rocheux. L'accès se fait uniquement en traversant le lit de la Borgne. Par le haut une falaise barre le chemin.

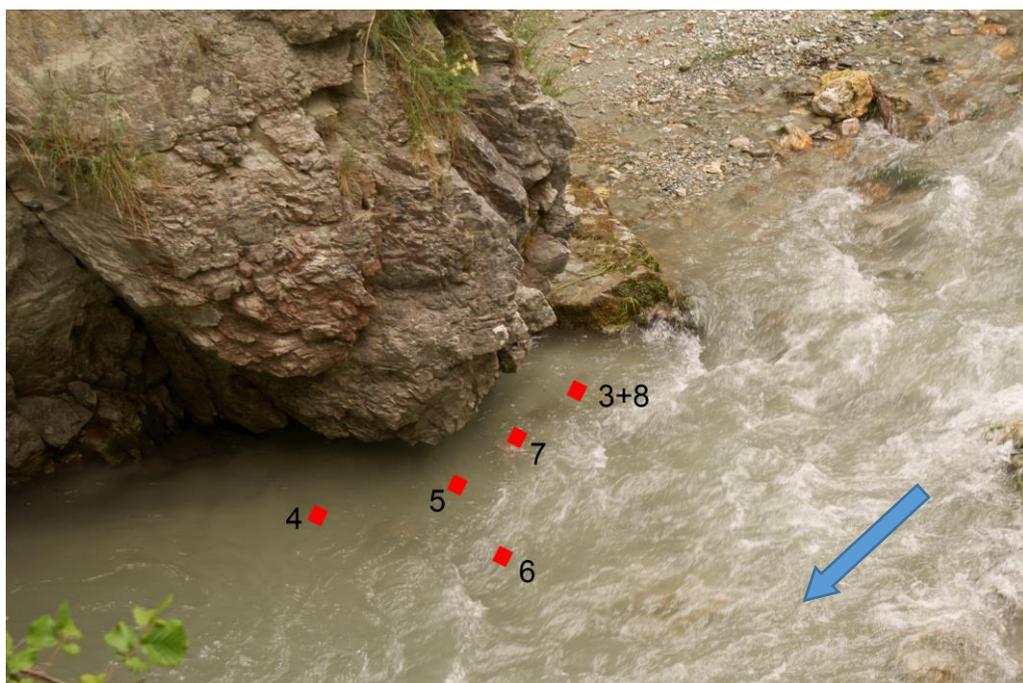


Figure 24 : Points de mesures en amont

Point	Profondeur [m]	C [m/s]
3	0.2	1.2
4	0.2	0.2
5	0.2	0.36
6	0.2	2.3
7	0.2	0.39
8	0.2	0.85

Tableau 3 : Mesures en amont

Le tableau ci-dessus présente les différentes vitesses mesurées aux points rouges correspondant à la figure 24.

De manière générale, plus on s'éloigne du flanc de la rivière, plus la vitesse est grande. Les frottements sur la roche expliquent ce phénomène. On remarque aussi qu'il suffit de seulement quelques dizaines de centimètres pour passer d'une vitesse quasi nulle à plus de 1 m/s. Les vitesses se situent entre 0.2 et 1.2 m/s.

Les points 3, 4, 5, 7 et 8 se retrouvent protégés par la pierre située juste devant.

5.1.2 Mesures du site en aval du pont

Les mesures en aval ont été prises aux points suivants :

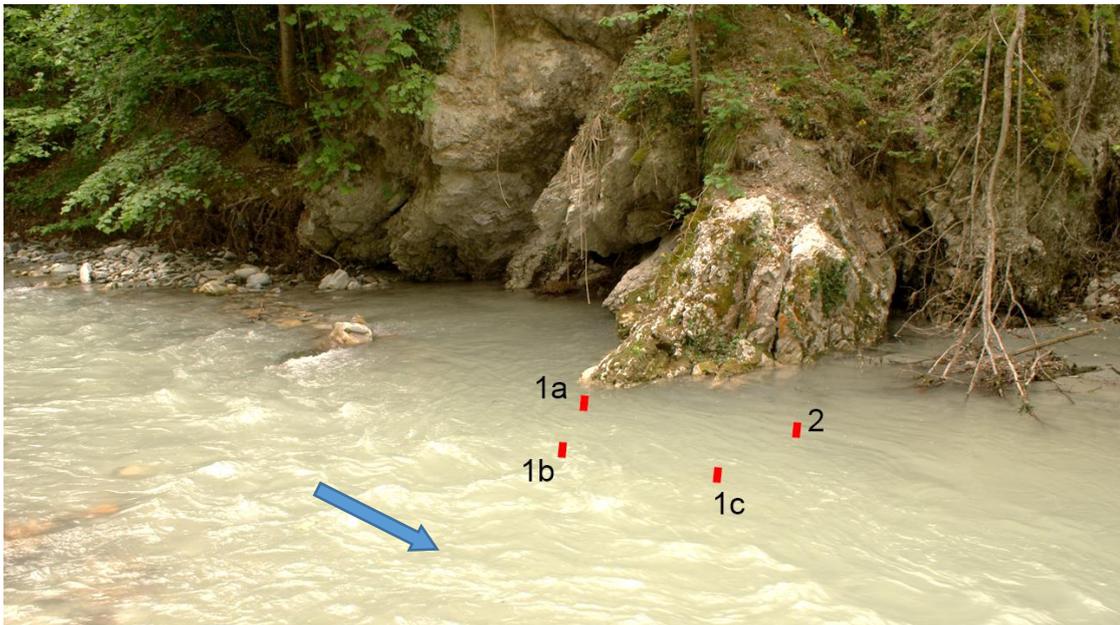


Figure 25 : Points de mesures en aval

Point	Profondeur [m]	C [m/s]
1	0	0.45
	20	0.3
1b	0	0.52
	20	0.48
1c	0	0.63
	20	0.55
2	0	0.46

Tableau 4 : Mesures en aval

Dans le tableau ci-dessus sont représentées les vitesses mesurées en aval du pont. De manière générale, le courant est plus stable qu'en amont. Les vitesses varient entre 0.3 et 0.7 m/s. Elles sont un peu plus faibles sur les bords de la rivière que dans le premier cas. Le fond se situe entre 30 et 40 cm.

En surface, le flux est moins sujet à l'effet de bord qui ralentit le fluide. Il est donc normal que les vitesses y soient plus élevées.

L'endroit est bien protégé. En cas de montée des eaux, le courant fort passerait sans doute tout droit en évitant la turbine.

5.1.3 Synthèse des mesures du site pilote

De manière générale, les deux endroits pourraient convenir. En amont, les vitesses sont plus élevées qu'en aval. Pour turbiner l'eau c'est un avantage certain.

Cependant, la turbine doit absolument être protégée contre les matériaux charriés dans l'eau. Le site en aval possède une meilleure protection.

De plus, en amont, l'endroit est précédé par une pierre qui dévie un peu le flux. À basse vitesse, cela peut protéger l'emplacement mais si une montée des eaux arrive, on pourrait observer un phénomène de remous qui diminuerait la vitesse du courant.

En déplaçant quelques cailloux, le site en aval du pont conviendra mieux pour effectuer les premières mesures avec le prototype de turbine.

5.2 Performance de la génératrice

5.2.1 Protocole de mesures

Afin de pouvoir par la suite dimensionner au mieux les éléments (hélice, carénage...) et comprendre le fonctionnement de l'alternateur dans l'optique de le raccorder sur un réseau de batteries, les courbes caractéristiques de fonctionnement doivent être établies.

Le principe est de raccorder l'arbre de la turbine sur un autre moteur pour simuler le mouvement de l'hélice. A l'aide d'un ampèremètre et d'un voltmètre, le courant et la tension aux bornes de la machine peuvent être mesurés. Ceci permet de définir le rendement de la machine ainsi que les meilleures plages de fonctionnement en vue de dimensionner une nouvelle hélice.



Figure 26 : Montage de la turbine sur le banc d'essai

Comme le montre la figure précédente, il a été nécessaire de concevoir un support pour adapter la machine sur le banc de test. Les plans de celui-ci sont fournis en annexe ^[3]. L'accouplement élastique qui relie la turbine au moteur d'entraînement permet de compenser les défauts d'alignement qui subsisteraient.

Type	Modèle	Localisation
Couple-mètre	Torquemaster TM 305/011 2N	Labo. électriques AE04 C. Costa
Lecteur couple	Magtrol 3410 Torque display 1B341505	
Oscilloscope	Tektronix TDS 2014	
Sonde différentielle	Differential Probe N° 036833	
Multimètre	METRAHIT TRMS DKD-K-19701	
Pince courant	Prova CM-01 N°01300954	

Tableau 5 : Matériel utilisé pour les mesures électriques

Tous les appareils ont été utilisés sous la responsabilité de Samuel Chevailler afin de caractériser au mieux l'alternateur de la turbine.

5.2.2 Formules

La puissance mécanique est calculée à partir du moment et de la vitesse de rotation. Elle servira à calculer le rendement de la machine.

$$P_{mec} = \omega \cdot M \quad (5)$$

P_{mec} : Puissance mécanique [W]

ω : Vitesse de rotation [rad/s]

M : Couple [Nm]

Le couple est directement mesuré par un capteur sur le moteur.

La vitesse de rotation est donnée par la relation suivante :

$$\omega = n \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (6)$$

ω : Vitesse de rotation [rad/s]

n : Vitesse de rotation [tr/min]

La puissance électrique fournie par l'alternateur se calcule comme telle :

$$P_{elec} = I_{mes} \cdot U_{mes} \quad (7)$$

P_{elec} : Puissance électrique [W]

I_{mes} : Courant mesuré [A]

U_{mes} : Tension mesurée [V]

A partir des puissances on peut calculer le rendement :

$$\eta = \frac{P_{elec}}{P_{mec}} \cdot 100 \quad (8)$$

η : Rendement [%]

5.2.3 Mesures à vide

Dans un premier temps, la tension induite à vide a été mesurée. L'alternateur est une machine synchrone biphasée à 6 paires de pôles. En augmentant la vitesse d'entraînement, la tension de sortie augmente, elle aussi, linéairement. Cet effet est observable sur le graphique suivant :

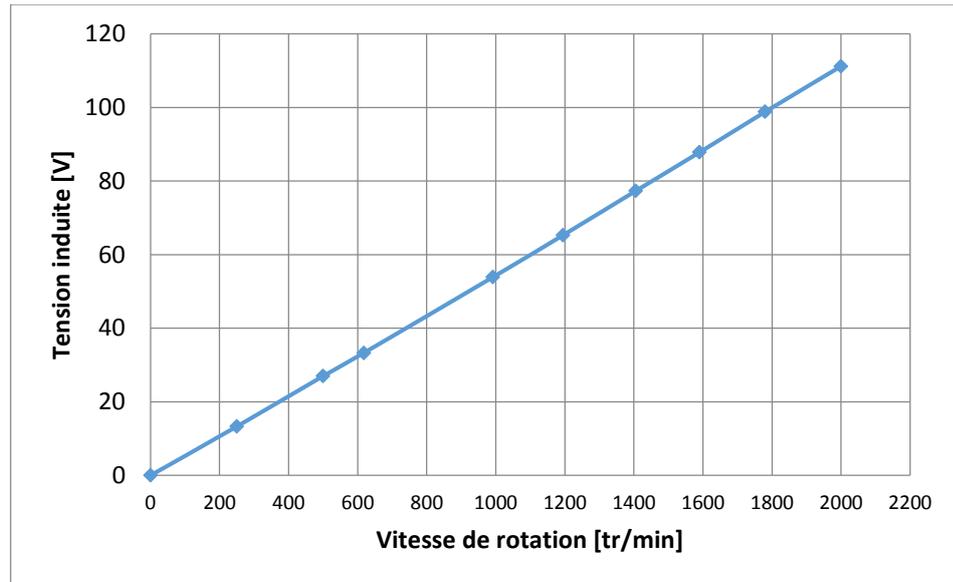


Figure 27 : Mesures à vide

La première mesure prise se situe aux alentours de 250 tr/min. Pour cette vitesse, on obtient une tension d'environ 13 Volts courant continu (VDC). Au maximum, vers 2000 tr/min, la tension induite augmente jusqu'à 111 VDC.

Ces premières observations indiquent qu'un régulateur de charge sera nécessaire pour se brancher sur un réseau. Ce dispositif permet de sortir avec une tension continue de 12 V. Ainsi les batteries pourront être alimentées.

5.2.4 Mesures en charge

Afin de simuler une charge à la sortie de la turbine, il faut brancher une résistance de puissance entre les deux bornes de la turbine. Pour les tests, il a été décidé de travailler avec une résistance variable. Ceci permet d'avoir une puissance constante à la sortie.

La figure ci-dessous montre la tension fournie par l'alternateur après la transformation en courant continu (CH1) ainsi que la tension de chaque phase (CH2 et CH3).

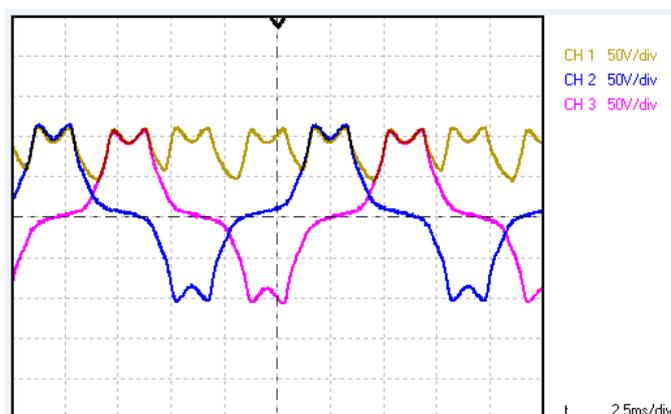


Figure 28 : Spectre des phases de l'alternateur

La tension continue est quelque peu variable. Afin de la mesurer au mieux, il est nécessaire de lisser le signal. Il faut ajouter un condensateur en parallèle des deux bornes de la sortie pour enlever les oscillations résiduelles. La valeur de la capacité vaut $44 \mu\text{F}$.

Le schéma suivant montre le branchement électrique des appareils de mesures, du condensateur ainsi que de la résistance de puissance.

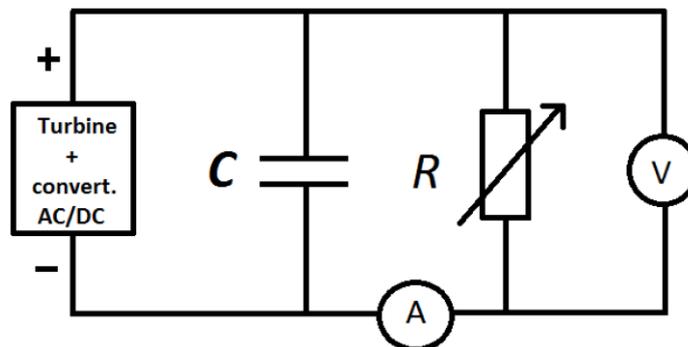


Figure 29 : Schéma électrique pour les mesures. A : ampèremètre, V : voltmètre, C : condensateur, R : résistance variable

A l'aide des formules (5) à (8), le rendement de la partie électrique et mécanique de la turbine a été calculé.

Les premières mesures ont été erronées en raison d'un couple-mètre pas assez précis. Les rendements atteignaient plus de 140 %. Elles ne sont ni référencées, ni prises en compte dans ce rapport.

Comme le montre l'image ci-dessous, un nouveau couple-mètre 2 N a été raccordé à l'arbre d'entraînement.



Figure 30 : Montage sur le banc d'essai avec le couple-mètre 2 N

Pour une charge de 20 W, le système de mesures, beaucoup plus précis dans les faibles couples, a permis d'obtenir les résultats suivants :

[tr/min]	M [Nm]	ω [rad/s]	P_{mec} [W]	U_{mes} [V]	I_{mes} [A]	P_{elec} [W]	$P_{elec\ mes}$ [A]	η [%]
1997	0.49	209.1	102.5	118	0.175	20.65	20.7	20.2
1797	0.49	188.2	92.2	105.4	0.207	21.82	21.8	23.6
1595	0.45	167.0	75.2	93.4	0.214	19.99	20	26.6
1407	0.43	147.3	63.4	81.6	0.244	19.91	20	31.6
1198	0.415	125.5	52.1	68.2	0.293	19.98	20.03	38.5
1005	0.42	105.2	44.2	56.2	0.355	19.95	20	45.2
910	0.43	95.3	41.0	50.15	0.4	20.06	20.1	49.1
800	0.44	83.8	36.9	43.2	0.46	19.87	20.05	54.4
698	0.47	73.1	34.4	36.8	0.545	20.06	20.05	58.4
609	0.51	63.8	32.5	31.6	0.635	20.07	20.1	61.8
500	0.59	52.4	30.9	25	0.8	20.00	20.1	65.1
400	0.72	41.9	30.2	18.7	1.08	20.10	20.1	66.6
344	0.9	36.0	32.4	13	1.6	20.90	20.9	64.5
300	1.1	31.4	34.6	6.1	2.47	15.07	15.3	44.3

Tableau 6 : Mesure avec charge de 20 W

De manière générale, pour garder une puissance électrique de sortie constante, la puissance mécanique augmente proportionnellement à la vitesse de rotation. Le couple d'entraînement diminue pour atteindre son point le plus bas à 1200 tr/min. Ensuite il augmente à nouveau dans les hautes vitesses. Le rendement maximum de 66.6% est mesuré vers 400 tr/min.

Le graphique suivant montre le rendement en fonction de la vitesse de rotation.

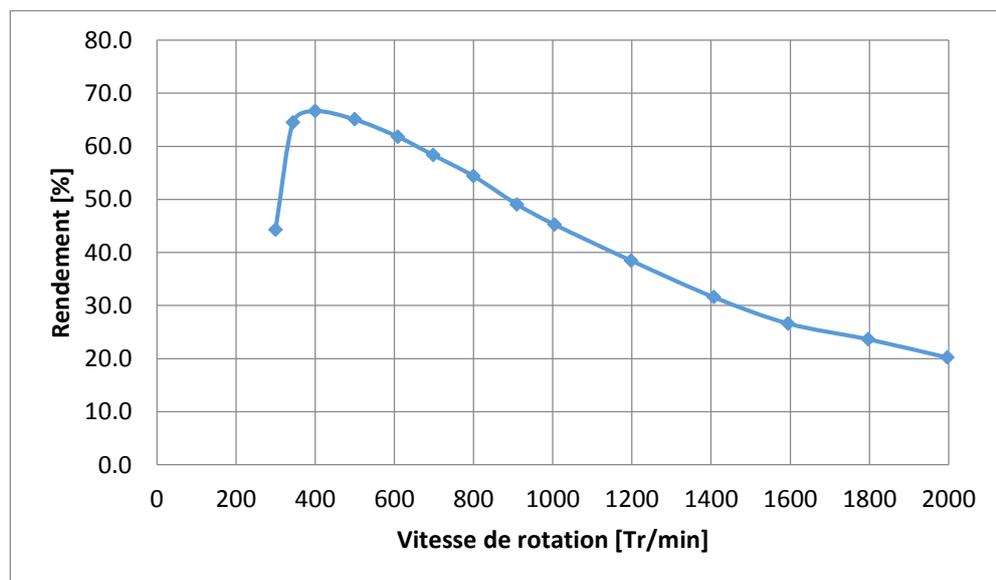


Figure 31 : Rendement à 20 W

En dessous de 300 tr/min, aucune mesure n'a pu être effectuée. En effet la charge est trop grande par rapport à ce que peut fournir la turbine à cette vitesse. L'alternateur se met alors en court-circuit.

Dans un second temps une charge de 10 W a été appliquée en sortie. Celle-ci a permis d'obtenir les résultats suivants :

[tr/min]	M [Nm]	ω [rad/s]	P_{mec} [W]	U_{mes} [V]	I_{mes} [A]	P_{elec} [W]	$P_{elec\ mes}$ [A]	η [%]
1605	0.38	168.1	63.9	97.2	0.103	10.01	10	15.7
1405	0.346	147.1	50.9	84.3	0.125	10.54	10.5	20.7
1202	0.32	125.9	40.3	71.6	0.14	10.02	10.05	24.9
1005	0.306	105.2	32.2	58.8	0.172	10.11	10.15	31.4
908	0.3	95.1	28.5	52.9	0.189	10	10.03	35.0
808	0.3	84.6	25.4	46.6	0.214	9.97	10	39.3
703	0.305	73.6	22.5	40	0.25	10	10	44.5
604	0.31	63.3	19.6	33.8	0.3	10.14	10.15	51.7
497	0.34	52.0	17.7	27.1	0.37	10.03	10	56.7
400	0.385	41.9	16.1	21.2	0.47	9.96	9.98	61.8
305	0.5	31.9	16.0	14	0.725	10.15	10.1	63.6
247	1.2	25.9	31.0	3.48	2.91	10.13	10	32.6

Tableau 7 : Mesure avec charge de 10 W

Dans ce cas, Le couple est au minimum entre 800 et 900 tr/min. Il est plus faible que dans l'essai à 20 W. Ceci est normal car la charge tirée en sortie est plus faible. Le rendement optimal se situe lui à 63.6 % pour une vitesse de rotation de 305 tr/min.

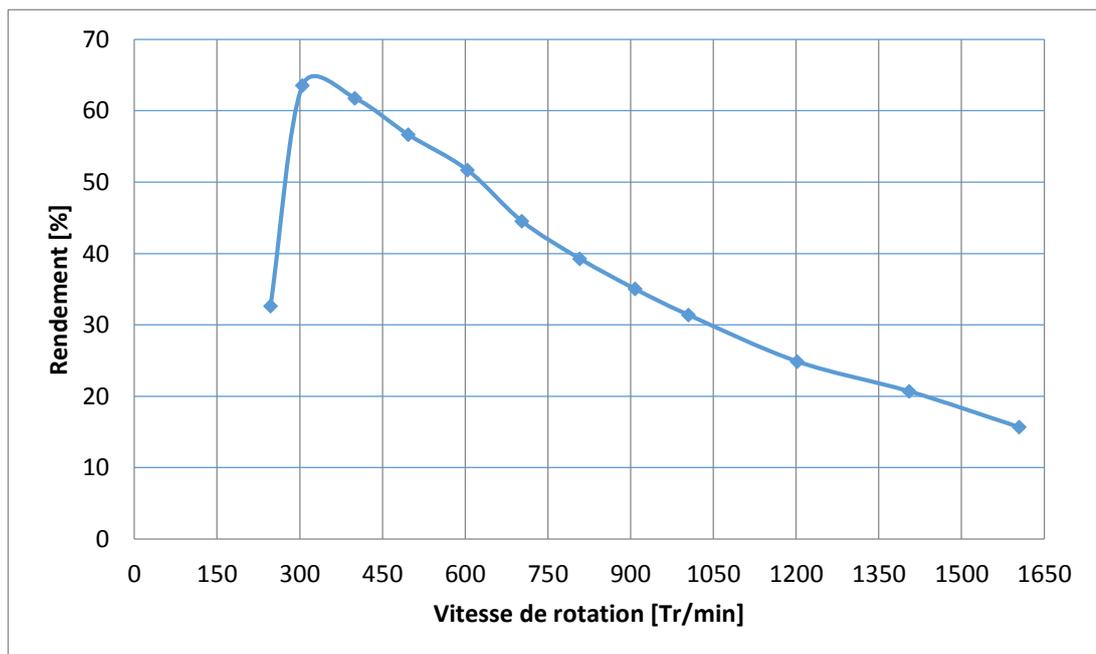


Figure 32: Rendement à 10 W

La courbe du rendement en fonction de la vitesse de rotation montre à nouveau que le rendement atteint un pic avant de chuter lentement. L'allure de la courbe est identique à l'essai avec 20 W, par contre le pic est décalé vers la gauche (côté petites vitesses). Le maximum est relevé pour une vitesse de 300 tr/min.

5.2.5 Synthèse des mesures

La mesure de la tension induite a montré que les valeurs produites sont relativement élevées. Afin de faciliter les tests de la turbine en rivière, il faudra réguler la tension car les résistances à placer en bout de circuit seraient beaucoup trop grandes et encombrantes.

Le rendement moyen de la machine électrique se situe aux alentours de 64 %.

Les vitesses idéales diffèrent en fonction de la puissance fournie par la machine. Plus elle est grande, plus la turbine devra tourner vite pour être au rendement maximum et inversement. On suppose donc que la turbine doit être régulée en fonction de la puissance à fournir. Cette régulation fixera la vitesse de rotation de l'hélice.

5.3 Mesures de performances de la turbine sur le site pilote

5.3.1 Protocole de mesures

Pour faire les tests, il a fallu commander le régulateur de charge de la turbine. Cet appareil sert non seulement à réguler la tension de la batterie à 12 V mais aussi à réguler la vitesse de rotation de la turbine. Le régulateur augmente ou diminue la vitesse de rotation afin de trouver le meilleur point de fonctionnement puissance

Les appareils sont branchés selon la figure suivante :

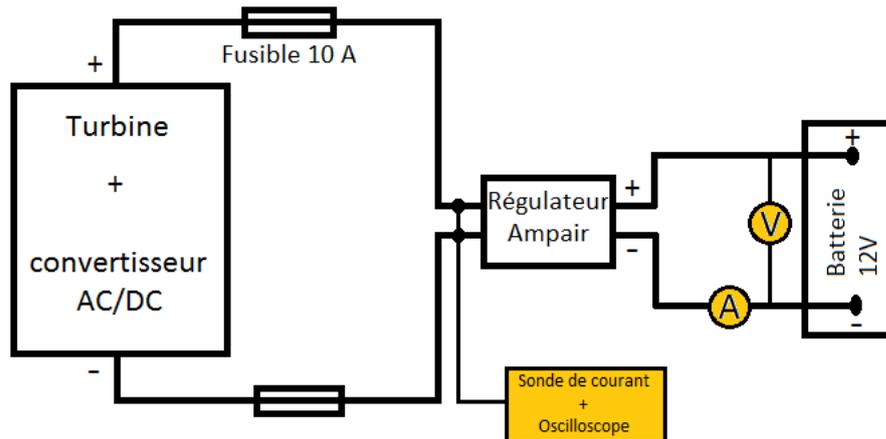


Figure 33 : Schéma électrique pour les tests en rivière. Les instruments de mesure sont colorés en jaune sur le schéma. Le A correspond à l'ampèremètre et le V au voltmètre.

5.3.2 Instruments

Type	Modèle	Localisation
Capteur de vitesse	Nautilus C2000 + Senza Z300 N°0120745	Labo. Hydraulique P. Grand
Oscilloscope portatif	Philips PM97 scopemeter DM5570212	Labo électronique AE01
Sonde différentielle	Differential Probe 7835-1	Labo électronique AE01
Multimètre	METRAHIT TRMS DKD-K-19701	Labo. électriques AE04 C. Costa

Tableau 8 : Instruments utilisés pour les mesures en rivière

L'oscilloscope et la sonde différentielle servent à déterminer la vitesse de rotation de la turbine. En mesurant la fréquence d'une phase de l'alternateur et en la multipliant par 10, on trouve la vitesse de rotation en tr/min ^[ref.11]. Avec le multimètre, le courant et la tension entre le régulateur et la batterie sont mesurés.

5.3.3 Résultats

Les mesures ont été faites aux sites présentés au point 7. En aval les tests ont été faits en deux points. Sur la figure ci-après, les deux cibles rouges montrent les endroits où la machine a été testée.



Figure 34 : Emplacement de la turbine en aval pour les mesures

Les mesures ont donné les résultats suivant :

	1	2
Vitesse eau [m/s]	0.2	0.22
vitesse de rotation [tr/min]	90	100
Courant [mA]	0 à 10	0 à 60
Puissance électrique [mW]	5	500

Tableau 9 : Mesures en aval

La mesure de la vitesse de rotation avec l'oscilloscope n'est pas concluante. En effet, la fréquence est trop faible et l'appareil ne détecte rien. En effet, l'appareil n'est pas fait pour mesurer des fréquences en dessous de 50 Hz. Une approximation a été faite au moyen d'un métronome.

La tension de la batterie a été mesurée en plusieurs fois. Initialement à 7.75 V, elle affichait 7.87 après 21 minutes passées dans l'eau. La charge de passe relativement lentement au vue des petites puissances produites (quelques dizaines de milliwatts) :

A noter que l'électronique du régulateur consomme 5.8 mW en permanence et lorsque la turbine ne produit pas, cette puissance est soutirée de la batterie.

La différence de vitesse à l'entrée de la machine entre les deux points n'est que de 0.2 m/s en plus. Au premier point de mesure, la turbine ne produit pas de puissance tandis qu'au second point, la production est de quelque centaine de milliwatts. Selon le datasheet de l'appareil ne devrait pas être installé dans des courants de moins de 1 m/s car les puissances obtenues sont négligeables à cette vitesse.

D'autres mesures sur cette section de la rivière ont montré que la vitesse ne dépassait pas 0.3 m/s. la décision a été prise de passer à l'autre site.

En amont du pont, la vitesse mesurée était de 1.5 m/s. Cependant les conditions climatiques, la longueur des câbles ainsi que des chutes de pierres n'ont pas permis de poser la turbine à l'endroit voulu sur la rive droite. Par sécurité, les tests ont été menés sur la rive gauche à un endroit où la vitesse de l'eau était de 1.2 m/s.



Figure 35 : Emplacement de la turbine en amont pour les mesures

Dans la figure précédente, le cercle rouge montre l'emplacement souhaité de la turbine. Sur la berge gauche la turbine immergée est visible.

Les mesures ont donné les résultats suivants :

- ◆ Vitesse de rotation : 1190 tr/min
- ◆ Vitesse de l'eau : 1.2 m/s

Un phénomène surprenant a été observé : lorsque l'hélice est complètement immergée, la puissance fournie n'est que d'environ 10 mW alors qu'à moitié immergée, la puissance produite atteint 2 W. Aucune explication concrète n'explique cette différence. La conception mécanique intérieure et le design de la roue sont peut être à l'origine. Si la force hydraulique appuie trop axialement l'hélice et que le montage interne des roulements n'est pas optimal, il peut y avoir un effet de butée interne qui freine l'arbre par frottements. Il faudrait connaître la conception interne pour en avoir la certitude.

L'idéal serait de pouvoir tester la turbine dans des conditions stables et maîtrisées, dans un canal à surface libre.

Il faudrait aussi pouvoir refaire les tests en laboratoire d'électricité avec le régulateur de charge afin de comprendre son fonctionnement.

Malgré le peu de temps passé dans l'eau (env. 2 h), on remarque que l'hélice est déjà sujette à de l'érosion. Sur la figure suivante, le cercle bleu montre l'endroit touché.



Figure 36 : Erosion en bout de pale

Le limon en suspension dans l'eau explique ce phénomène. Il faut aussi le prendre en paramètre lors de la conception d'une hélice. L'aluminium n'est probablement pas le matériau le plus adapté à un milieu autant abrasif.

En résumé, plusieurs points sont à relever de ces essais. L'installation est fonctionnelle. Malgré tout, il reste encore des questions en suspens du côté de la régulation électrique et de l'efficacité de l'hélice. Les résultats montrent aussi que le site en amont est meilleur en terme de vitesse et conviendrait mieux à l'implantation de la turbine. On remarque aussi que certains paramètres influençant les mesures sont difficilement contrôlables. Le courant instable, les problèmes de régulations le design de la roue ou même l'effet de bord peuvent perturber les mesures.

6 SYNTHÈSE DU PROJET

6.1 Conclusion

Ce projet a permis de faire l'inventaire des différentes solutions pour turbiner l'eau d'une rivière de montagne et d'en lister les avantages et inconvénients. Le cahier des charges étant très restrictif, il a fallu établir une liste de critères de sélection et les classer par ordre d'importance pour effectuer un choix.

Le système retenu est celui de la turbine iso-cinétique. La décision a été prise de commander un système existant Ampair UW100, de le tester et de le rendre plus robuste en vue d'une implantation en rivière.

Les tests en laboratoire d'électricité ont permis de caractériser la turbine comme une machine synchrone à deux pôles. La tension produite est linéaire et peut dépasser 110 V à 2000 tr/min. Le rendement électrique et mécanique est mesuré à environ 64 %.

Par la suite, le châssis ainsi que le carénage construits ont permis de tester la turbine à deux endroits d'un site pilote défini par le CreAlp. Les résultats sont à la hauteur des espérances car le système est capable de fournir jusqu'à 2W dans un flux à 1.2 m/s et est capable de recharger une batterie.

Malgré tout, il est encore possible d'améliorer le système. L'effort principal pourrait être fourni sur l'hélice ainsi que sur le carénage afin de récupérer plus de puissance hydraulique.

6.2 Perspectives

Comme vu précédemment, la turbine réalisée est un premier prototype. Les délais ainsi que le budget à disposition n'étant pas très élevés, il a fallu réaliser quelque chose de très simple et rapide à mettre en œuvre.

Le principal défaut de ce prototype est la section d'entrée de la machine. En se servant de tubes pour faire circuler l'eau sur l'hélice, les pertes dans les coins seraient évitées. La vitesse de circulation de l'eau dans la turbine pourrait donc être augmentée.

La corrosion galvanique pose aussi un problème. Si le prototype venait à rester plus longtemps dans l'eau, il faudrait utiliser un seul matériau pour la conception. Dans notre cas, la visserie utilisée est en acier galvanisé ou en acier inoxydable. Pour éviter l'effet de pile, il faudrait mettre des vis en aluminium comme le cadre et la turbine.

En cas d'implantation définitive, il faut repenser le système de fixation. L'idéal serait de concevoir un bras articulé, amarré directement dans le rocher. Un plus possible est de pouvoir faire varier la hauteur de la turbine en fonction de la hauteur de la rivière.

Pour protéger la machine, il faut ajouter une grille à l'avant de la turbine. Les pierres charriées constituent un grand danger. Une grille plate à l'avant retiendrait trop les corps étrangers. Il faudrait faire un système qui dévie les pierres au lieu de les stopper. Pour les évacuer, la protection doit être en forme de cône.

Un objectif du travail aurait été de faire un dimensionnement complet d'une hélice afin de remplacer celle livrée avec le corps de turbine. En effet, le profil ainsi que les courbures de la roue fournie ressemblent plus à un design de propulsion, comme sur les moteurs de

bateaux. Cette amélioration permettrait de récupérer plus de puissance hydraulique et donc d'avoir un meilleur rendement.

Comme vu lors des tests en rivière, le circuit doit être protégé d'une surcharge pouvant provenir d'une accélération trop forte du courant. En admettant que la machine doit fonctionner en complète autonomie, il n'est pas envisageable de mettre des disjoncteurs manuels pour assurer la sécurité. Afin d'éviter un déplacement d'un opérateur on pourrait mettre un fusible bilame. Lors d'un dépassement d'intensité, le système serait protégé puis réarmé un moment plus tard quand le fusible est refroidi.

Il n'existe que peu de systèmes (turbine, régulateur et batterie) sur le marché pour des puissances de l'ordre de 100 W et moins. Dans l'idéal, il faudrait partir de zéro et repenser la turbine dans son ensemble. A partir d'un alternateur plus adapté et en redesignant le corps de turbine, il est possible, pour une production similaire, de perdre encore en taille et en poids par rapport à la turbine Ampair. En ajoutant les améliorations citées précédemment, la machine pourra alors fonctionner en autonomie complète.

Mis à part les stations de mesures, le système deviendrait applicable à d'autres utilisations. En camping par exemple : placée à côté d'un petit cours d'eau, le système peut fournir de la lumière une fois la nuit venue. Aux abords d'un chalet, la turbine pourrait constituer un appoint aux panneaux solaires lorsqu'ils sont recouverts de neige. Le potentiel de marché est donc là, reste à l'exploiter.

7 REMERCIEMENTS

Par ces quelques mots, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé durant ce projet. Tout particulièrement à Mme. Cécile Münch-Alligné, professeur responsable, et ses assistants Vlad Hasmatuchi et Shadya Gabathuler pour leurs conseils sur les micro-turbines et les alternateurs. Merci également à M. Eric Travaglini et M. Eric Badoux du CreAlp pour les informations mises à disposition et l'aide apportée pour faire les mesures lors de ce projet. Je ne saurais terminer mes remerciements sans oublier M. Samuel Chevaller pour l'aide fournie lors des tests électriques en laboratoire et M. Christian Costa pour la mise à disposition du matériel de mesure.

Sion, le 10 juillet 2014

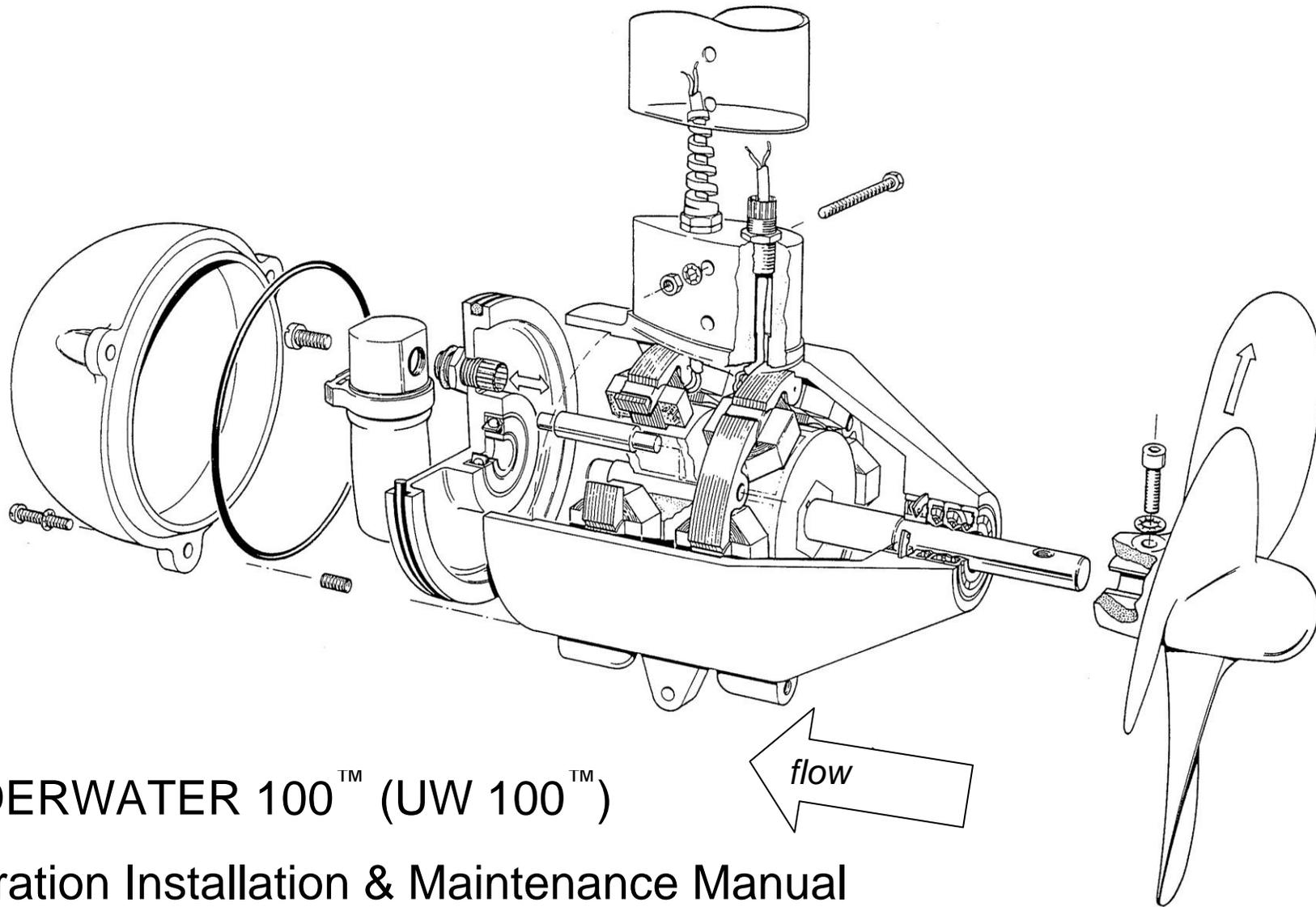
Grégoire Sauthier

8 REFERENCES

- [ref. 1] Classification des turbines : Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis, SJ Williamson, BH Stark, JD Booker - Renewable Energy, 2014 - Elsevier
- [ref. 2] Micro-turbines : www.powerpal.com
- [ref. 3] Classification des pompes inversées : Ch2 p15 Manual on pumps used as turbin J-m Chapallaz volume 11 editions vieweg
- [ref. 4] Roue à aube par-dessus : <http://www.bottin-moulin.com/l-energie-et-les-moulins-p1-18.html>
- [ref. 5] Roue par-dessous : <http://www.fao.org/docrep/010/ah810f/AH810F12.htm>
- [ref. 6] Vis d'Archimède : www.freeflowhydro.co.uk
- [ref. 7] www.youtube.com/watch?v=Ntbgu4SEShw
- [ref. 8] Turbine iso-cinétique : <http://isi.hevs.ch/valais/hydro.html>
- [ref. 9] Projet SMARTHYDROPOWER :
www.provientto.com.pe/microhidraulicas.html
- [ref. 10] Pico turbine iso-cinétique
http://www.absak.com/catalog/popup_image.php/pID/3
- [ref. 11] Selon discussion orale avec M. Samuel Chevaller, 02.07.2014

9 ANNEXES

- [1] Fiche technique turbine Ampair UW100
- [2] Offre maurelma.ch pour la turbine
- [3] Plans d'usinage du support pour le banc de test
- [4] Plans d'usinage de la turbine



UNDERWATER 100™ (UW 100™)

Operation Installation & Maintenance Manual

Manufactured by Ampair®

SAFETY: <i>READ BEFORE ASSEMBLING OR USING</i>	3
Use.....	3
Connection	3
Protection	3
PACKING LIST: PRE-INSTALLATION CHECK.....	3
SYSTEM DESCRIPTION	4
Introduction.....	4
Name –Aquair; Aquair UW; Underwater; and UW.....	4
The alternator	4
Sealing	4
Additional internal protection.....	4
Rectification	4
Figure 1: Circuit diagram.....	4
INSTALLATION	4
Pre installation	4
Installation of UW (general)	4
Mechanical installation.....	4
Figure 2: Dimensional drawing	5
Mounting.....	5
Protection	5
Figure 3: Protection options	6
Electrical installation	7
Electrical fault finding.....	8
OPERATION	8
Figure 4: Performance curves.....	9
CHARGE CONTROL REGULATOR.....	10
Installation of charge control regulator	10
Figure 5: Charge control regulators	12
UW MAINTENANCE	13
Preventative maintenance	13
Propeller removal.....	13
Seal change.....	13
UW disassembly	13
Removal of stators.....	14
Reassembly.....	14
Testing.....	15
COMPONENT PARTS DRAWING	16
Figure 6: Component parts drawing	16
Key to component parts drawing.....	17
WARRANTY.....	17
SERVICING & REPAIRS.....	17

SAFETY: READ BEFORE ASSEMBLING OR USING

Use

On sail boats, avoid sailing through coral or weed with the UW lowered.

Connection

NEVER CONNECT WITHOUT RECTIFIERS

The generator must never be connected to a system without its rectifiers in circuit, to do so risks discharging the battery to which it is connected.

CORRECT CONNECTION

It is important to connect the system in such a way that the generator cannot feed any electrical load without the battery being connected. The generator output should therefore go to the battery side of any isolator switch. Failure to observe this point could place over-voltage on the system and damage sensitive electronic equipment.

Protection

PROTECTING THE SYSTEM

Do not omit the fitting of fuses, simple in-line fuse carriers maybe used in the battery line.

Fuses = 10 Amp - 12V systems: 5 Amp - 24V systems

OBSERVE POLARITY

Reverse polarity will blow the battery fuse or destroy the rectifiers if no fuse is fitted. The rectifier will be destroyed faster than a fuse can blow.

DISCONNECTING THE GENERATOR

When disconnecting the generator please be aware that when it is spinning, the output voltage, in the absence of a battery, will rise. This can give a mild electric shock to a person handling the connections.

WHEN TO FIT A REGULATOR

It is advisable to fit a voltage regulator if the UW is regularly left to charge batteries when no loads are present and the system is not being monitored. Under these conditions overcharge will slowly drive off the battery electrolyte, which, if not topped up, will eventually damage the batteries. So a regulator must always be installed if the system is not monitored or is unattended.

CAUTION

When planning your installation, observe the following:

1. Avoid operating the UW generator continuously at maximum output. Try to judge a suitable power level, which takes account of seasonal flow variations, storm effects and possible short-term surges. Higher water speeds generate little additional power, but put excessive force on the propeller, generator and its mounting and can cause vibration and fatigue damage. If left running continuously at excessive speed the propeller can be shaken free and may damage the shaft and shaft seals.
2. Regularly inspect a newly installed system to check that all is well. Do not limit this to monitoring the electrical output, but also check for smooth mechanical operation with propeller aligned to face the flow. Also check for propeller wobble and generator vibration. Any defects need to be remedied immediately.
3. Finally, connect a safety line (well clear of the propeller) to save the generator should it become detached from its mounting.

PACKING LIST: PRE-INSTALLATION CHECK

Have you received the correct voltage rating, 12V or 24V?

CHECK THAT YOU HAVE:

1 x UW generator fitted with:

1 x propeller standard type

1 x rectifier/heat-sink assembly

1 x M8 stainless steel socket cap

screw with shake-proof washer

1 x 6mm hex socket wrench

1 x propeller guard (if ordered)
 1 x mounting pole c/w fasteners (if ordered)

1 x regulator, 12V or 24V (if ordered)
 spares as specified (if ordered)

SYSTEM DESCRIPTION

Introduction

The UW is a submersible water-driven generator, capable of supplying in excess of 100 watts of electrical power for battery charging. Both 12 Volt and 24 Volt units are available.

Name – Aquair; Aquair UW; Underwater; and UW

The UW100 was introduced to service in about 1988. At the time it was called the Aquair UW because it was viewed as being a variant of the Aquair hybrid wind and water powered generator. Unfortunately clients were often confused by the very similar names (Aquair and Aquair UW) and as a result often ordered the wrong spares. So in 2006 we dropped Aquair from the name of the UW which we now term either the 'Underwater' or the 'UW'.

The alternator

The two-phase alternator incorporates two stator windings and two permanent magnet rotors, on a common shaft, running in two sealed and grease-packed ball bearings. The rotors are staggered at 30 degrees to each other to minimise starting torque due to magnetic “cogging”.

Sealing

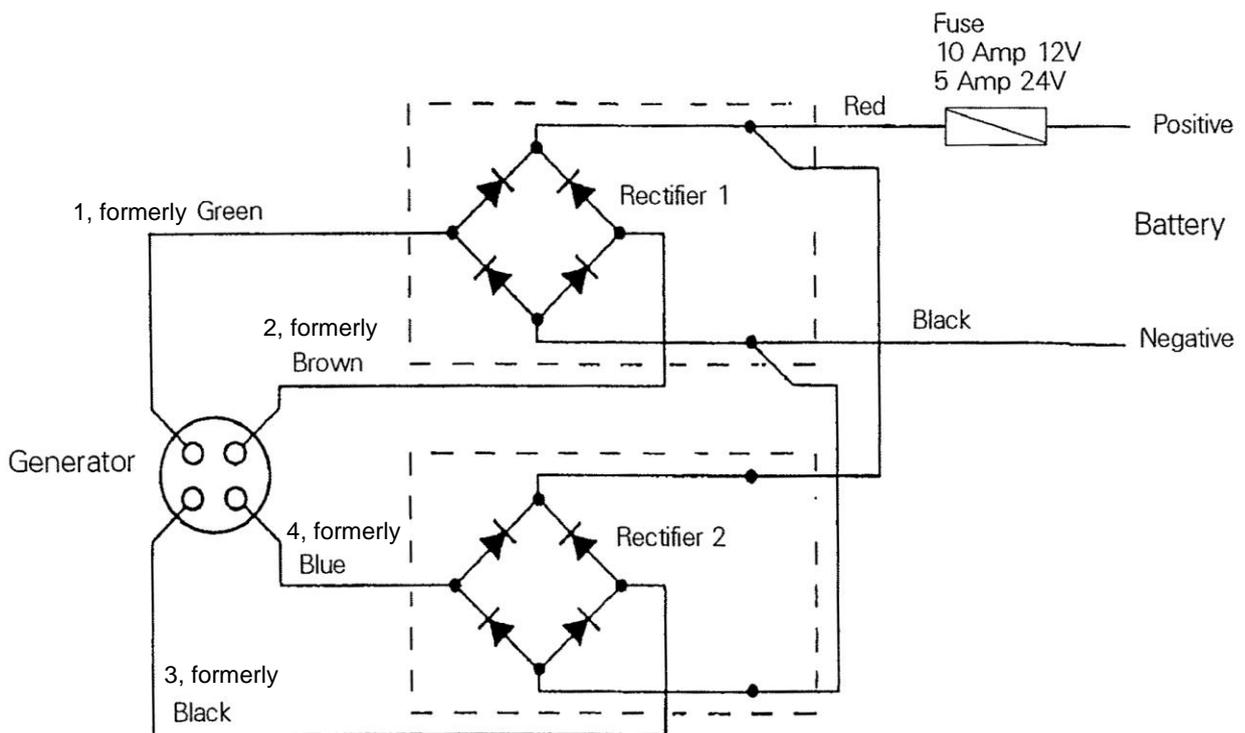
The front bearing is protected by three, in-line, shaft seals. The rear dome of the alternator is protected by two, independent, “O” rings. The cable exit is protected by a cable gland backed up by a feed-through sealing plug with “O” ring seal.

Additional internal protection

The main body of the alternator is filled with hydraulic fluid as a final line of defence against water intrusion. A part-filled rubber reservoir in the space between the main body and rear cover allows for expansion and contraction with changing temperature and pressure.

Rectification

The alternator produces AC, which has to be rectified to DC externally. The UW output requires two bridge rectifiers, one for each phase, with the rectifier outputs parallel.



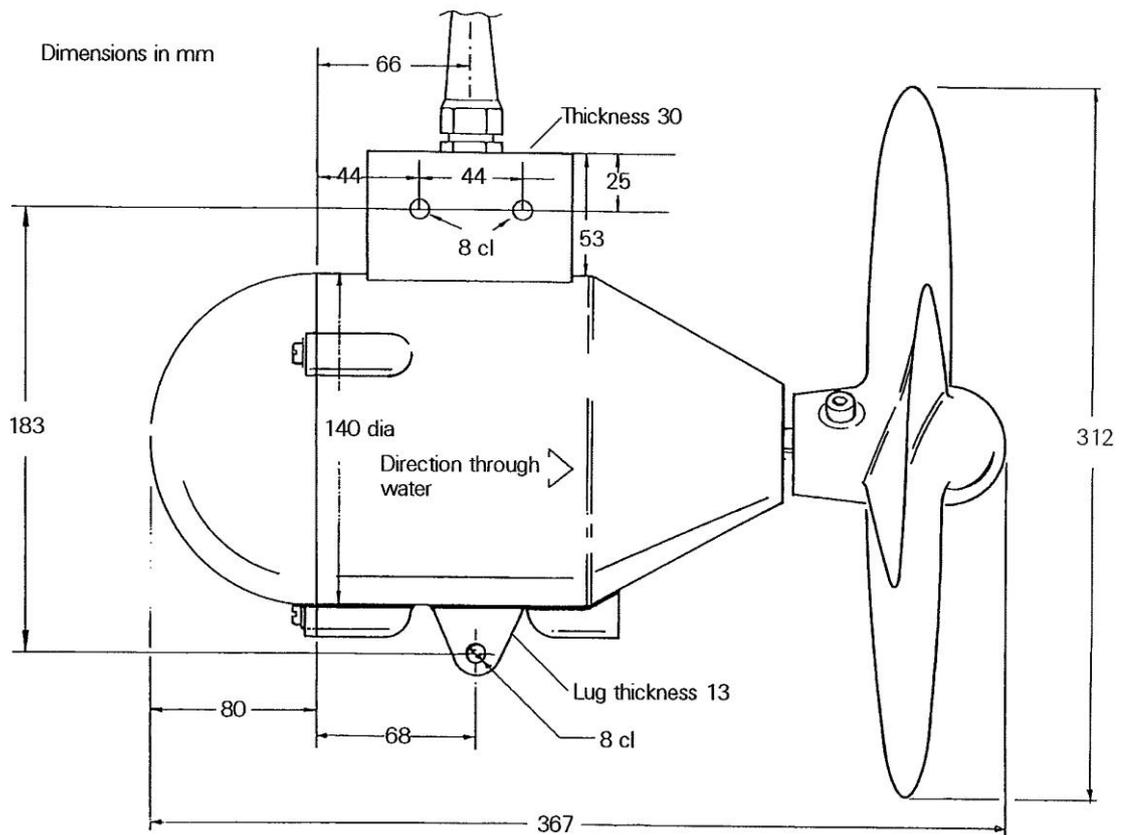


Figure 2: Dimensional drawing

Mounting

The UW has an upper mounting boss with 2 x M8 clearance holes, one either side of the cable exit. A lug on the casing underside, also having an M8 clearance hole provides a third mounting position. Allow some adjustment (+/- 5mm) in the mounting structure to cater for alignment.

1 metre and 1.5 metre long mounting poles are available. They fit the UW mounting boss, protecting the cable and cable gland. The pole can be used to lower the generator into the flow as part of a raising/lowering mechanism.

Protection

Operating problems can be caused by floating objects such as tree branches, weed, rope or fishing line. Two protection options are available as shown in Figure 3.

1. A stainless steel propeller guard, which fits outside the mounting pole.
2. A shrouded propeller (standard fit for all units from 1 January 2008).

The propeller guard gives protection from large objects whilst the shrouded propeller prevents fine rope or fishing line being wound along the propeller shaft and through the seals, allowing water to enter or causing the shaft to jam. The mounting pole also protects the cable.

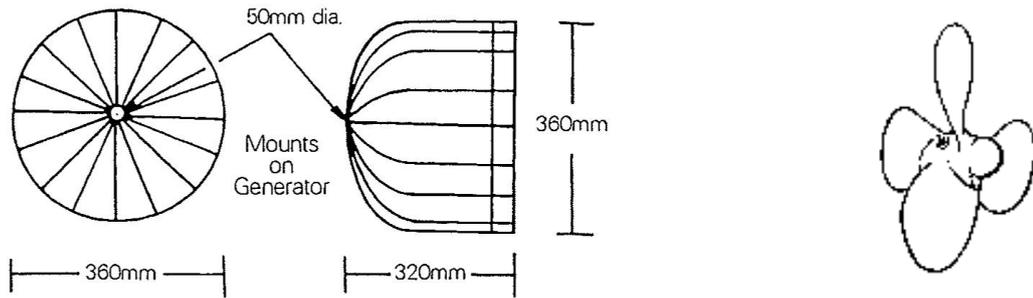


Figure 3: Protection options

BOATS: Use stainless steel for fabrications (preferably 316 grade) and fasteners (A4 grade) in marine applications. Be sure to separate dissimilar metals with plastic bushing and consider rubber anti-vibration mounts between structure and generator.

REMOTE HOMES: Fabrications can be made of steel. Side plates or angle brackets can be made to suspend the UW from an overhead beam or a sliding pole arrangement.

HIGH SPEED FLOW: Very fast flowing water requires a special low RPM propeller with fine blades. Care must be taken to protect the blades from damage.

WATERSPEED: Accurate water speed data is not normally available. With care speed can be estimated by timing a float along a measured distance, taking seasonal variations into account. The resultant flow range in metres/sec or knots will yield the UW output charge.

Flow rates can be calculated for discharges of known volume flowing in pipes or channels.

Convert UK Gallons to cubic ft. (x 0.16) or litres (x 4.55)

(Note. 1 US Gallon = 0.83 UK Gallons)

Calculate pipe/channel cross-section area in square ft. or square cm.

Flow rate is calculated from:

cubic ft./sec divided by area in square ft. to equal flow in ft/sec.

or,

10x litres/sec divided by area in square cm. to equal flow in m/sec.

UW outputs can be read from the curves on the performance graph:

1 ft./sec. = 0.305 m/sec

1m/sec = 1.94 knots

Electrical installation

4m of 4-core cable is fitted to the UW. Tinned copper multi- stranded wire of 1.5 square mm area is used for each core, (16AWG)

Number and previous colour codes for wiring.

Generator output phase 1	1 (green) and 2 (brown) to rectifier 1
Generator output phase 2	3 (black) and 4 (blue) to rectifier 2
Rectifier outputs parallel	red = positive
	black = negative

CAUTION: The generator must never be connected to a system without its rectifiers in circuit, as this risks discharging the battery to which it is connected.

When wiring the unit the following points should be observed:

- a. The UW is supplied with cable of 1.5 sq. mm conductors. This size is adequate for wiring the UW to the battery, provided the cable run does not exceed 10 metres. For longer runs, refer to table. It is preferable to locate the rectifiers (and regulator if fitted) at the battery site. Four-core cable can be used for interconnections. Each AC phase carries only half the output current giving twice the cable run of a two wire DC system for the same power loss. Two twin core cables can be used if more readily available, allocating one cable to each phase to assist future maintenance. Cable faults may well short out the generator, but the battery is safe, being isolated by the reverse current blocking of the rectifiers.

CABLE LENGTHS IN METRES FOR 10% MAXIMUM POWER LOSS WHEN CONNECTING THE UW TO A BATTERY (1m = 3.28 ft.)			
Cable length		Cable cross section	
2-core DC (metres)	4-core DC (metres)	Metric (mm²)	Nearest AWG
6	12	1.5	16
10	20	2.5	14
16	32	4.0	12
25	50	6.0	10
40	80	10.0	8
64	128	16.0	6
100	200	25.0	4

- b. Any connector must have four contacts rated at 5 amps minimum and should be fitted with watertight caps when disconnected.
- c. Any connectors in the DC line should have the pins on the wire from the alternator and the sockets on the wiring to the battery.
- d. The rectifier unit should be mounted with the heat-sink fins vertical since it will run warm.
- e. It is vital to observe correct polarity throughout since damage can result from wiring errors.
- f. We recommend a 0-10A (0-5A) ammeter be fitted in the line to the 12v (24v) battery to allow monitoring of the output.
- g. A fuse, rated at 10A for 12v or 5A for 24v, should be placed next to the battery connection. This will protect the cable in the event of a fault or damage in the generator circuits.
- h. It is important that the system is connected in such a way that the generator cannot feed any electrical load without the battery being connected. The generator output should therefore go to the battery side of any isolator switch. Failure to observe this point could place over-voltage on the system and damage sensitive electronic equipment.

NOTE: There is no leakage from the battery to the UW generator when the propeller is not turning since the rectifiers prevent reverse current flow.

CAUTION: When disconnecting the alternator, be aware that if it is spinning, the output voltage, in the absence of a battery, will rise. This can give a mild electric shock to anyone handling the connections.

Electrical fault finding

NOTE. By far the most common cause of reduced output is corroded wiring between UW and battery. Before suspecting the machine, check any screw terminal or crimp connections and all cable runs to the battery.

POSSIBLE FAULTS TO CONSIDER IF REDUCED OUTPUT IS SUSPECTED:

- a) **Poor wiring connections.** Inspect all the screw terminals in the circuit for signs of fatigue or corrosion.
- b) **Faulty rectifiers.** The rectifiers should last the life of the machine. The most likely cause for their demise is accidental reverse polarity connection to the battery. If this is suspected the rectifier diode bridges must be checked.
A simple method of checking the machines output is to disconnect it from the battery and short together its output leads whilst turning the shaft by hand. A marked increase in resistance to turning should be felt as the shorting occurs.

DIODE TEST:

This test will show if the rectifier diodes are either open or short circuit. If your multi-meter has a diode check feature, select this (if not select the highest resistance range). Connect the meter leads to the DC output and note the reading. Now reverse the connections.

METER LEAD POSITION	MULTIMETER SETTING			CONCLUSION
	DIODE TEST		OHMS x 100	
RED meter lead to positive	No reading	or	Many Megohms*	OK
	Reading	or	Low resistance	Failed
BLACK meter lead to positive	1.2V (two diode drops)	or	Markedly less*	OK
	No reading	or	High resistance	Failed

*This test is not as conclusive as the diode test method, however, provided the first reading is a very high resistance and the second reading far lower, then the test is valid. Actual values will depend on the voltage supplied by the particular meter for its resistance ranges and some meters cannot check 2 diodes in series.

- c) **Faulty stator.** Check AC input to rectifiers or check for coil continuity and isolation from the case. The resistance should be less than two ohms at 12v (approx. 8 ohms for 24V units).

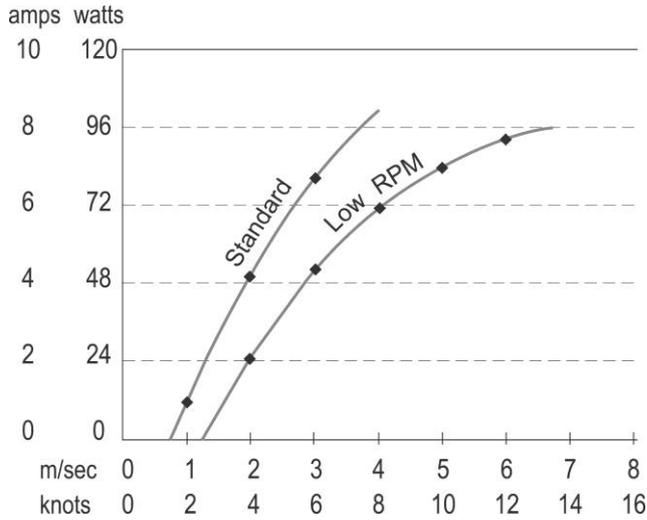
NOTE. Do not attempt to modify a 12V machine to 24V. Whilst at first sight this may appear possible by connecting the outputs of the stators in series, greatly reduced output will be encountered since they are not in phase. A 24V machine with 24V windings is available.

OPERATION

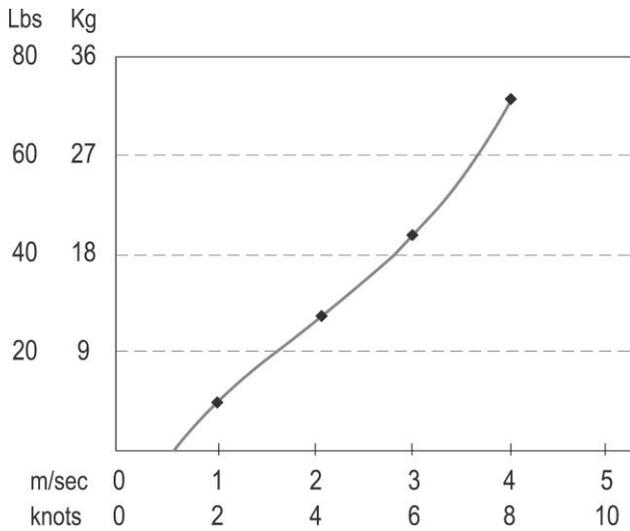
Once the UW has been installed and commissioned, the unit may be lowered into the operating position at any time the flow is over 2 knots or 1 m/sec. (below this speed little output is obtained).

CAUTION. On a sailboat, avoid sailing through coral or weed with the UW lowered.

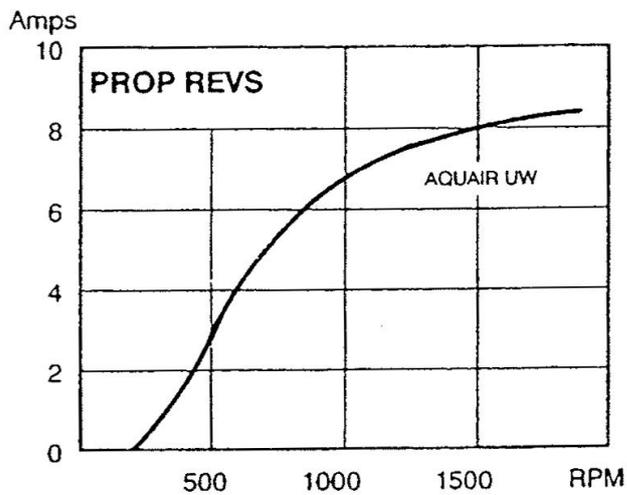
PERFORMANCE



Power production



Mounting forces



Propellor speed

Figure 4: Performance curves

Date: 7 Dec 2010	UW-100 Manual	CD: 2240
Issue: 1.2		Page 10 of 20

CHARGE CONTROL REGULATOR

AMPAIR manufactures 3 Charge Control Regulators for protecting lead acid batteries from overcharge. They are not “shunt” type regulators, which dissipate excess charge as heat, but an electronic power switch, which disconnects the generator from the battery at the regulation voltage.

Regulators S1B & S3B have a single 100-watt input (Ampair, Aquair or UW) and 2 level sensing. The lower voltage (Lo) connection regulates at 0.4 Volts below the high (Hi) connection for 12V systems (0.8V for 24V systems).

“Hi” connection is appropriate for liquid electrolyte batteries and/or live aboard situations. ‘Lo’ connection for gel batteries and/or infrequent use.

The battery voltage is sensed at the regulator output connection, therefore install the regulator as near the battery as practicable and keep the connecting cables short.

Regulator type S1B has one output battery connection. Regulator S3B has three output connections to serve up to three battery banks with a common negative. The third regulator D1B has two 100 watt inputs (any two from Ampair, Aquair, UW or solar panels), supplying a single battery bank at a fixed regulation voltage.

All regulators feature the same multi-stage regulation programme which has regulation voltages of Lo = 13.6V. Hi = 14.0V for 12V systems (27.2V & 28.0V for 24V systems).

Charging is continuous until the Lo or Hi voltage is reached, depending on the battery output used. The generator is now disconnected from the battery. Off-charge, the battery voltage will fall. At a voltage of 0.5V below the regulation voltage a 30-second time delay is activated. This delay prevents the regulator from oscillation (hunting) when charging batteries under load. After 30 seconds has elapsed, the generator-to-battery connection is remade and charging continues to the regulation cut-out voltage.

A cycle counter counts the charge/disconnect cycles and at the tenth cycle increases the regulation voltage for one cycle only by 0.4 volt to Lo 14.0V or Hi 14.4V for 12V systems (0.8V for 24V systems Lo = 28.0V, Hi = 28.8V). This provides an equalisation charge for the battery. Subsequent cycles return to the lower settings until a further 9 cycles are completed.

Ammeter: We recommend fitting an ammeter to monitor charging. Use 10A for 12v, 5A for 24v. Fit an ammeter with a linear scale (moving coil type) or low outputs will be indiscernible.

Fuses: Battery protection fuses should be fitted. Use 10A in 12v system, 5Amp for 24v.

Wiring: Use suitably insulated cable of 1.5 sq. mm (16 A.W.G.) between regulator and battery in single source systems; 2.5 sq. mm (14 A.W.G.) for dual source. For input wiring to the regulator see appropriate generator wiring section. The use of screened cables is recommended if the cables run close to equipment radiating strong electrical fields e.g. radio transmitters or aerials.

Installation of charge control regulator

Make sure the generator is not operating whilst connecting to the regulator. Connecting with live wires can damage the electronic regulation circuit.

At initial start-up, allow a time of 1-2 minutes for circuit timing functions to become active.

Protecting the system:

Fuse warning - never omit fuses, simple in-line fuse carriers may be used, they protect your system from excessive battery currents in the event of a serious electrical fault. If they keep blowing, find out why.

Fuses = 10A for 12V systems; 5A for 24V systems.

Date: 7 Dec 2010	UW-100 Manual	CD: 2240
Issue: 1.2		Page 11 of 20

The regulators are internally protected by SAE fuses, which are not substitutes for battery protection fuses. The fuses must be next to the battery terminals since, in the event of a fault, the batteries would source the fault current. Check and double-check polarities before making connections, insert the fuses in the fuse carriers last of all.

Corrosion:

This is the enemy of all electrical connections, especially in marine environments. Site regulators in a weather proof location, as dry as possible, and splash proof. Inspect all terminations and connections for signs of corrosion. Rectify by cleaning, remaking etc. Use tinned copper wire for extension leads to prevent corrosion spreading inside cable insulation.

Operating problems:

A digital multi-meter is useful for checking operational faults, if no permanent monitoring instruments are used. Battery voltage levels and those of the charging source can be read directly. Charging current readings will require the multi-meter to be installed in line. In this way currents into and out of the regulator can be observed. Do not remove battery connections since regulator operation depends on a very small supply current. If the regulator is suspect then it can be temporarily bypassed by connecting the source positive direct to a battery positive. The negative connections are common and do not need disturbing unless regulator replacement is necessary. Use the multi-meter continuity range to confirm all cable runs are low resistance.

Operation:

When installed, the generator and regulator will run and maintain the batteries automatically. The unit may be run in conjunction with any other charge-source with no known interactive problems. Regular battery inspection and topping up must still be carried out to obtain maximum battery life.

Faulty regulator:

Each regulator is individually tested and a chart recording kept of its operation. Each regulator has a unique serial number and a test date. Please provide these with any queries. If the regulator is suspect, then it can be temporarily bypassed i.e. connect the UW rectifiers directly to the battery terminals observing correct polarity. If this reinstates correct charging, then the regulator must be serviced or replaced. Regulators draw a small current (typically 1mA at 12V) from the battery to activate the sense and control circuits. **Without this connection the regulator will be inoperative.**

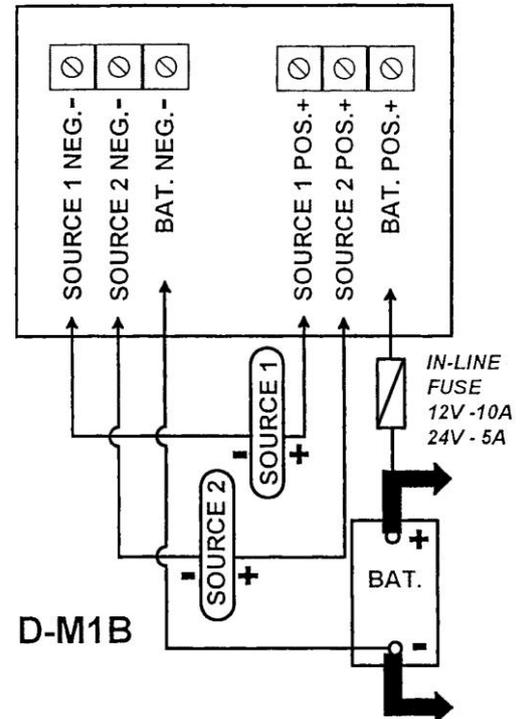
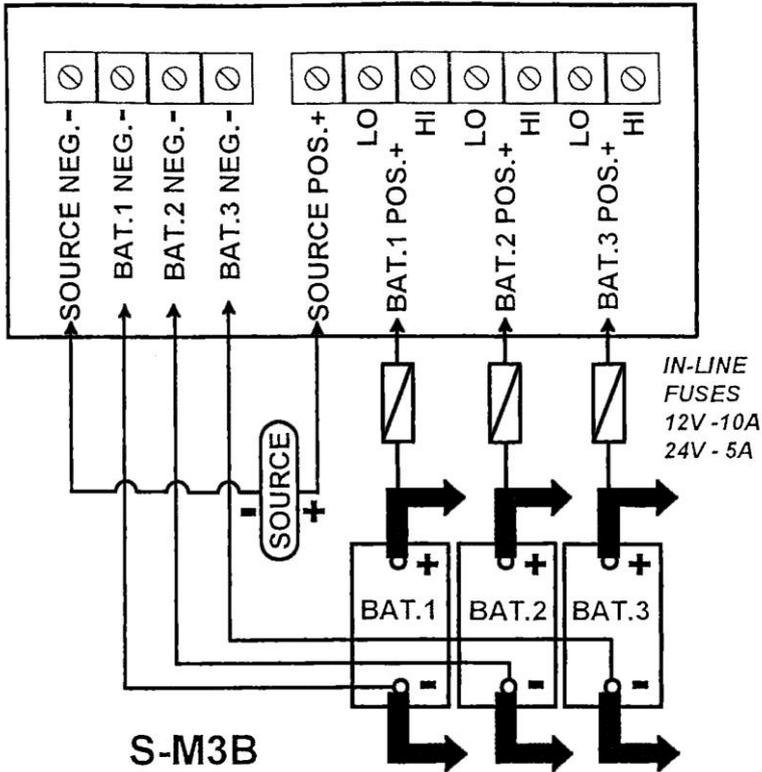
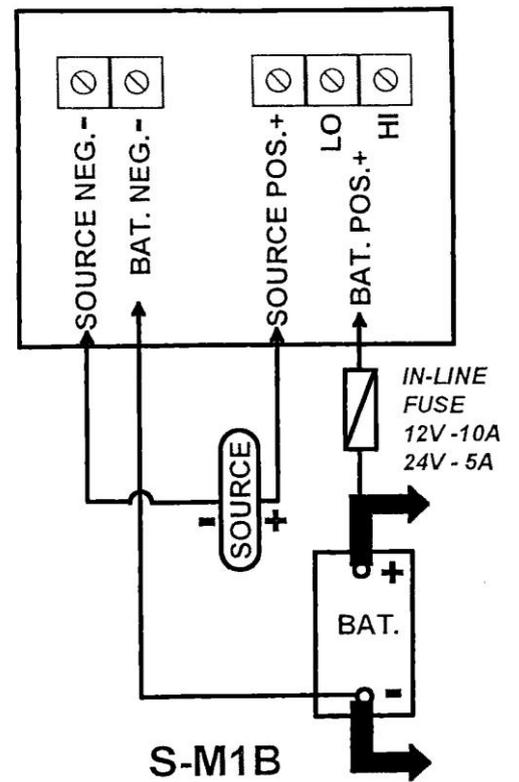
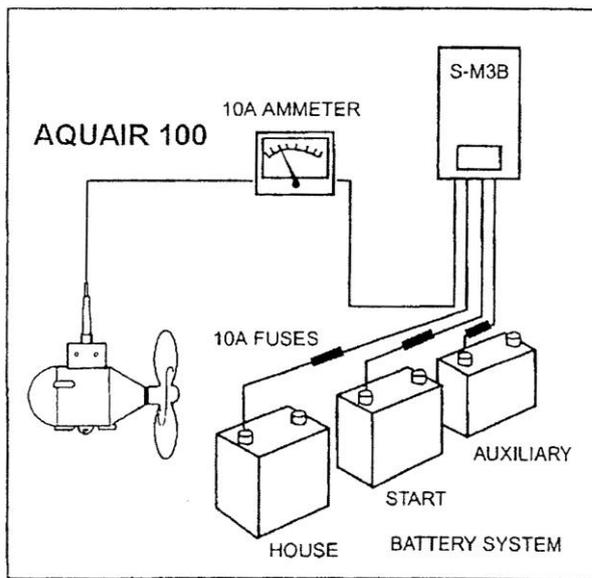


Figure 5: Charge control regulators

Date: 7 Dec 2010	UW-100 Manual	CD: 2240
Issue: 1.2		Page 13 of 20

UW MAINTENANCE

Preventative maintenance

Practical problems, which will cause faults if not corrected are:

- a) Abrasion or stress of output cable resulting in loss or part loss of output due to cable breakage.
- b) Loose propeller fasteners. This will eventually cause shaft wear requiring factory replacement!
- c) Fouling of propeller by rope or fishing line small enough to be drawn into the generator through the seals causing a leakage path. A shrouded propeller is recommended to prevent this.
- d) The shaft seals should periodically be changed to prevent worn seals leaking. Periods of 2 - 3 years, dependent on use, can elapse between servicing.
- e) The paint on the housing and propeller should be examined and any damage re-painted, especially if the water has a salt content.

Propeller removal

The use of adhesive on the cap screw during installation may make it difficult to remove. An extension tube on the key may be necessary to free this screw. To remove the propeller from the shaft, gently tap the boss to ease it off. Do not hammer the blades. If the prop is stuck on the shaft, drill and tap an M10 hole through the prop boss centre on the shaft axis and, using a suitable length of bolt, draw the prop off the shaft. In severe cases the threads may strip and the propeller will have to be cut away with a hacksaw and replaced.

Seal change

In all units manufactured from September 1996 onwards 3 seals are arranged in-line, on the alternator shaft, with the seal faces outwards. Both front and middle seals can be changed without stripping the machine.

- a) Remove slit cover washer from groove in housing. A sharp edge will help to lift the cover away from the groove.
- b) Carefully lever out the front seal with the blade of a screwdriver, taking care not to damage the casting or shaft.
- c) To remove the middle seal, drill two small diametrically opposing holes through the middle seal taking care not to over-travel to the inner seal. Improvise a wire coat hanger puller.
- d) Thoroughly clean the housing of all traces of old grease and swarf from the drill.
- e) Part-fill the gaps between the new seals with water repelling grease.
- f) Identify outer seal with stainless steel spring and separate from remaining seals with steel springs.
- g) Slide the seals into place. If necessary, use a thin wire laid axially along the shaft to allow air to escape from the housing through the seal as it is pressed into place. Remove the wire. The middle seal may need tapping home, press on the outer seal rim only.
- h) Refit seal cover washer by overlapping the ends and springing into groove.

NOTE: All UW generators manufactured prior to Sept. 1996 have outer seal facing inwards to protect steel spring.

UW disassembly

Before commencing work, prepare a stand for the UW. This can be a simple block of wood with a hole drilled to take the alternator shaft such that the alternator rests vertically with hemisphere uppermost. Stand the block and generator in a tray to catch any fluid spill.

Make a cable feed-through seal extractor tool as follows:

Obtain a piece of metal tube 14 -16mm diameter and at least 100mm long with a bore large enough to take the cable. Cut and file one end to produce two prongs of size 3 x 3mm, 180 degrees apart.

- a) Undo the cable gland tail, extract the clamp ring and rubber seal and slide off the cable.

Date: 7 Dec 2010	UW-100 Manual	CD: 2240
Issue: 1.2		Page 14 of 20

- b) Undo the gland body. This has been fitted using polyurethane sealant (Sika-Flex 221) on the thread and will be stiff to turn. Pick out any sealant residue from the cable hole thread.
- c) Unscrew the three fasteners and remove the hemisphere and 'O' ring. A small residue of fluid will be present.
- d) Undo filler screw and invert the machine to drain fluid into suitable container for careful disposal. Any water present will be emulsified within the oil (very little oil will emerge until the next step).
- e) Take the extractor tool described above and thread over the cable, prongs first. Insert the tool into the cable hole, locating the prongs in the threaded sleeve. Make sure the machine is over the oil container and undo the sleeve 4 to 5 turns and gently pull the cable. This will allow air into the body and allow the oil to fully drain.
- f) Tap the shaft through the body with a hide mallet. Do not damage the shaft face by using a steel hammer. When the shaft face is flush with the body nose, use a suitable drift to complete the withdrawal of the back-plate and shaft assembly.
- g) Thoroughly clean the shaft and rotors, checking that the two rotors are arranged on the shaft with their magnetic poles 30 degrees apart.
NOTE: Rotor removal requires a high tonnage press. We suggest the shaft assembly be returned to the factory if the rotors or shaft are damaged. Do not disturb cable or stator wiring unless replacement is necessary.
- h) Inspect both stator windings, especially all soldered joints between the coils. Corrosion can only be the result of water ingress. Bad corrosion will cause irreparable damage.
- i) Inside the body, locate four wire tails: 1 (formerly green), 2 (formerly brown), 3 (formerly black) & 4 (formerly blue). Gently manoeuvre them to allow their connections to the stator output wires to be dc-sleeved and dc-soldered.
- j) Undo the threaded sleeve. Withdraw cable, sleeve, feed-through seal and "O" ring. Inspect the connections on the feed-through seal.
- k) Press or drift the front bearing out into the body.

NOTE: The stators are retained in the body using Loctite 648 adhesive. If the unit cannot be returned to Ampair, and stator replacement is necessary, proceed as follows:

Removal of stators

Place a block of wood on a concrete floor. Holding the generator body nose up, in both hands, bring it down sharply on the block to strike it squarely. Proceed carefully, collecting two stators and taking particular care not to distort the body casting. In case of difficulty it may be necessary to bake the UW housing in an oven to break the adhesive bond.

Reassembly

All components to be reassembled must be clean and free of grease. Adhesive bonding is used throughout. We specify Loctite products, but equivalents are acceptable. Activators to suit these adhesives should be used if available. The three shaft seals should always be replaced after servicing the machine.

Use Loctite 641 between bearing and housing
 Loctite 648 with activator T for the stators
 Loctite 641 between shaft & bearing

- a) Insert inner seal flat side inward and press tight to the front bearing circlip. It may need tapping home, press on the outer rim only.
- b) Prepare the body to accept the stators by removing old adhesive residue. Remove any traces of oil using solvent on a cloth
- c) Fit the front stator, lowering it into the body as far as it will go making sure the output wires are adjacent to the cable exit hole. Leave the body nose down while the adhesive cures.
- d) With a new 'O' ring on the feed-through seal, gently push the tails through the cable hole until the seal is fully seated. Screw the threaded sleeve into place and tighten fully.

- e) Fit the gland body using a little polyurethane sealant on the thread.
- f) Fit its rubber seal, clamp ring and tail, tighten cautiously.
- g) Solder and sleeve the connections from tail 1 (formerly green) and tail 2 (formerly brown) to the front stator output wires. The polarity is unimportant as the rectification is external.
- h) Insert the stator spacer.
- i) Fit the rear stator, lowering it onto the spacer, making sure the output wires are aligned with the cable hole and in line with those on the front stator. Allow the adhesive to cure. Solder and sleeve the connections to tail 3 (formerly black) and tail 4 (formerly blue).
- j) Refit the back-plate with a new "O" ring and, if necessary, the bearing. Use Loctite 641 for bearing to plate and bearing to shaft bonding.
- k) Push shaft assembly back into the body having first run a ring of adhesive around shaft at start of bearing position. A smear of hydraulic oil on the plate seal will assist.
- l) Return alternator to its stand and immediately fill with approx. 1 litre of mineral oil, viscosity 1500 centistokes (I.S.O. 15). The use of a small funnel is advisable. UW generators manufactured from the end of 2005 onwards, are filled with a 'food grade' liquid paraffin of the same viscosity.
- m) Wind some PTFE tape around the threads of the filler screw. Squeeze the rubber reservoir to expel air until filling is complete. At this point insert and tighten the screw whilst still squeezing the reservoir. The idea is to leave the reservoir approx. half full at room temp. Make sure the plate is fully pressed in before finally tightening the filler screw.
- n) Leave oil spillage inside rear housing for added corrosion protection. Replace "O" ring beneath hemisphere and screw it down evenly until it bottoms. This leaves a uniform gap between the hemisphere and body of 1.0 - 1.5mm.
- o) Invert alternator and fit new middle and front seals as above adding a small quantity of hydraulic fluid to the inner seal and a quantity of PTFE grease to the middle seal. Fit seal cover washer into groove of body. Overlap ends of washer to spring into place.

Testing

When the machine is bench tested, the output should typically be as follows for 12V units (for 24V, double the volts; half the amps):

RPM	250	500	750	1000	1250	1500
No load Volts	9	17	25	32	40	47
Amps per phase	0.5	2.2	3.4	4.1	4.3	4.6

Notes: The no load volts readings are taken with a digital voltmeter set to AC volts, with no rectification in circuit. The Amps per phase readings are taken with an AC ammeter before the bridge rectifier for that phase. The charge from both phases is not equal to the sum of the two phases since there is a phase difference between them.

COMPONENT PARTS DRAWING

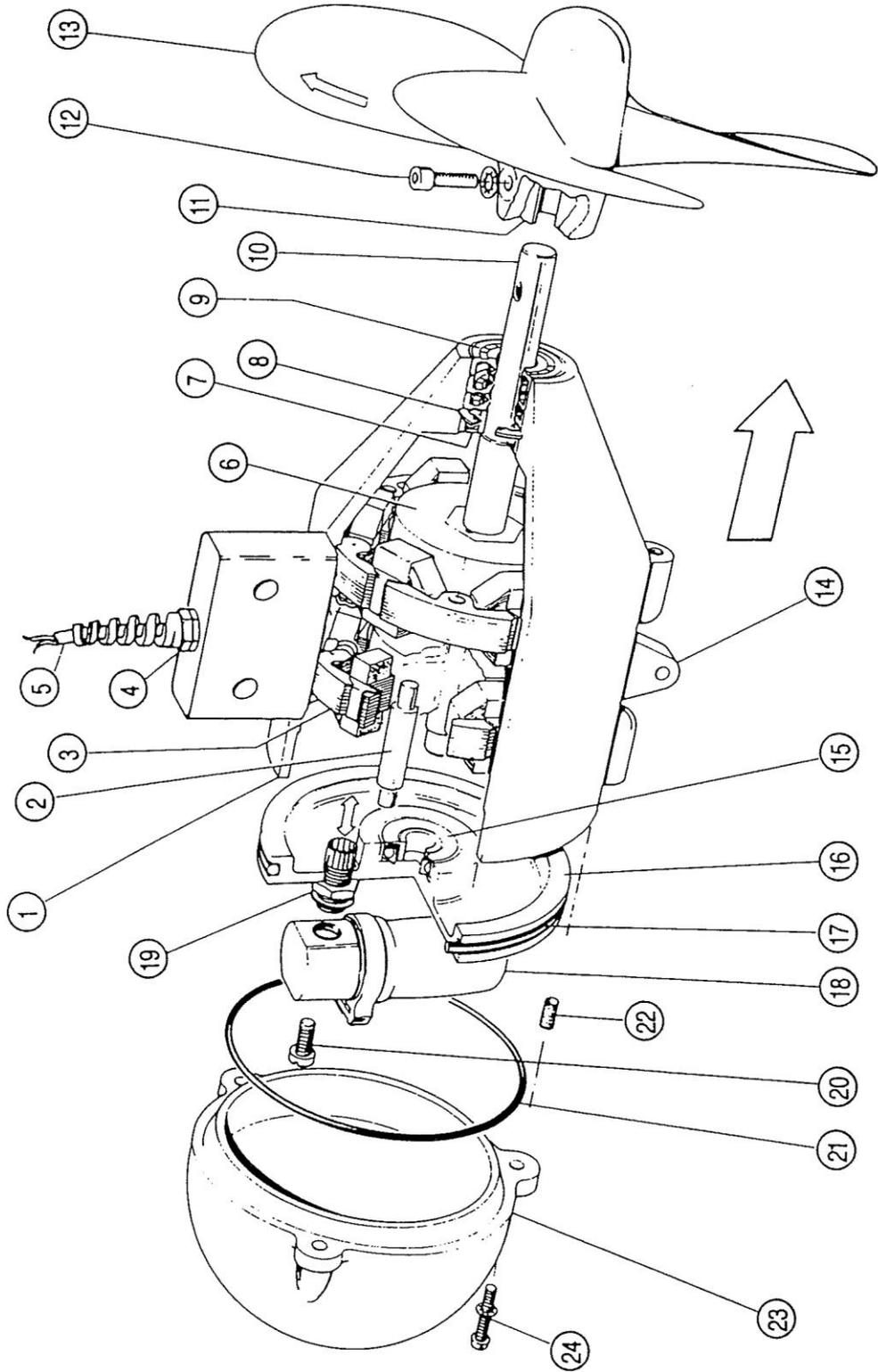


Figure 6: Component parts drawing

Key to component parts drawing

Key	Description	Drp No	Accounting Code
1.	Body casting	CSTM 0013	.AB W01 042
2.	Stator spacer	NMETL 0013	.NML W01 013
3.	Stator winding	ASMB 0046	.AB W01 044
4.	Cable gland	CBLSR-M20	.CBL SR M20
5.	Output cable, 4 metres 4 core 1.5 sq. mm cores	-	.WRP 4 x 01.5T
6.	Permanent magnet rotor	in ASMB 0047	.AB A00 016
7.	Front bearing, 17 x 40 x 12mm Type 6203	BRNG 6203	.BRG 6203
8.	Internal circlip, 40 x 1.75mm	CIRCI 40-1	.CRCI 40-1
9.	Shaft seal, rubber plain lip, 17 x 40 x 7mm (3 required) & cover washer	2 x SEAL SC 1740-7 1 x SEAL SF 1740-7 1 x NMETL 021	2 x .SEA SC1740-7R21 1x .SEA 1740-7VR21 1 x .NML W01 021
10.	Shaft, stainless steel, grade 316	METL 0030	.MTL W01 030
11.	Propeller bush stainless steel	METL 0061	.MTL W01 061
12.	Propeller fastener M8 x 30mm grade A4 stainless steel cap screw complete with M8 shake-proof washer	SCRM 8x30 01SS WSHR 8-5	.SCR M08 x 30-01 .WSR 08-5
13.	3-blade propeller casting	ASMB 0049	.AB W01 046
14.	Base mounting lug, M8 clearance hole	n/a	n/a
15.	Rear bearing, 15 x 35 x 11mm Type 6202	BRNG 6202	.BRG 6202
16.	"0" ring retaining plate	MTL 0090	.CM W01 012
17.	"0" ring, metric size 351	ORG 1200 x 533	.ORG 1200 x 533
18.	Oil reservoir, Nitrile (synthetic rubber) moulding	ASMB 0043	.NML W01 017
19.	Plastic reservoir attachment	CBLG-PG11	.NML W01 020
20.	Oil filler screw, M8 x 12mm	SCRM8 x 12-05SS	.SCR M08 x 12-06
21.	Water seal "0" ring, metric size 351	ORG 1200 x 533	.ORG 1200 x 533
22.	Helicoil, M6 x 15mm stainless steel (3 required)	HLCM 6x25L	.GEN W01 HLCM6x25F
23.	Hemisphere casting	CSTM 0015	.AB W01 043
24.	Hemisphere Fastener, M6 x 25mm stainless steel grade A4 & Shake-proof washer (3 of each required)	3 x SCRM 6x25 01SS 3 x WSHR 6-5	3 x .SCR M06x25 3 x .WSR 06-5
Cable seal components, not shown:			
a)	Threaded sleeve	NMETL 009	.NML W01 009
b)	Feed-through seal body	ASMB 0053	.NML W01 010
c)	Feed-through seal "0" ring size 614	ORGI 191x262	.ORG BS61 4N

WARRANTY

Please see Ampair terms and conditions, available on request. Please keep your invoice as proof of purchase.

SERVICING & REPAIRS

UW's should be returned to:

Ampair Energy Ltd
Unit 2, Milborne Business Centre, Blandford Hill
Milborne St Andrew,
Blandford Forum,
Dorset DT11 0HZ
United Kingdom
Tel +44 (0) 1258 837 266
Fax +44 (0) 1258 837 496
Email: sales@ampair.com
Web: www.ampair.com

Ampair reserves the right to change specifications, without prior notice, in the interest of product development.

Date: 7 Dec 2010	UW-100 Manual	CD: 2240
Issue: 1.2		Page 18 of 20

Date: 7 Dec 2010	UW-100 Manual	CD: 2240
Issue: 1.2		Page 19 of 20

Date: 7 Dec 2010	UW-100 Manual	CD: 2240
Issue: 1.2		Page 20 of 20

Maurer Elektromaschinen GmbH
Ruederstrasse 6
5040 Schöffland

Herr
Sauthier
Grégoire

Telefon: +41(0)62 721 44 84
Telefax: +41(0)62 721 44 85
E-Mail: info@maurelma.ch
www.maurelma.ch

Sion

Bank: Raiffeisen Reitnau-Rued
BLZ: 80723
Konto: 31189.02
IBAN-Code: CH93 8072 3000 0031 1890 2 (nur CHF)
SWIFT-Code: RAIFCH22

Sachbearbeiter: Heinz Müller

Angebot: AN-1135 Vorgang: V-9747

Datum: 19.05.2014
Kontakt-ID: K006790

Sehr geehrter Herr Sauthier
Hier Ein Angebot mit Transport
Mit freundlichen Grüßen
Heinz Müller

Pos.	Bezeichnung	Artikelnr.	Menge	Preis	Gesamt	Mwst.	Anm.
-------------	--------------------	-------------------	--------------	--------------	---------------	--------------	-------------

1	Aquair UW Unterwasserturbine 12VDC	250000	1	1580,00	1580,00	8%	
---	------------------------------------	--------	---	---------	---------	----	--

Anzahl Artikel:1 Anzahl Posten: 1

Warenwert SFr 1580,00

Versandkosten: SFr 11,00

Bestellwert: SFr 1591,00

Nettobetrag (ohne Mwst): SFr 1473,15

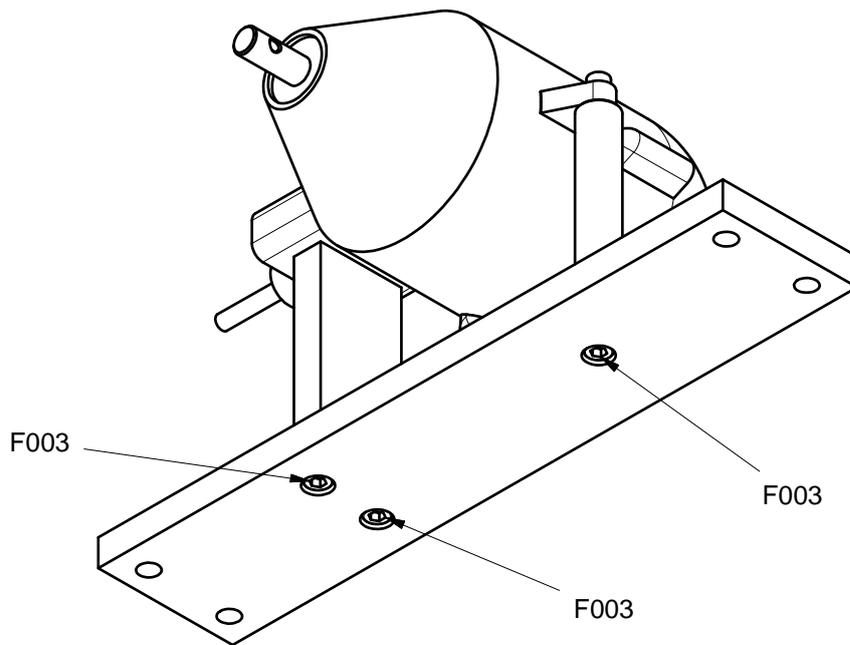
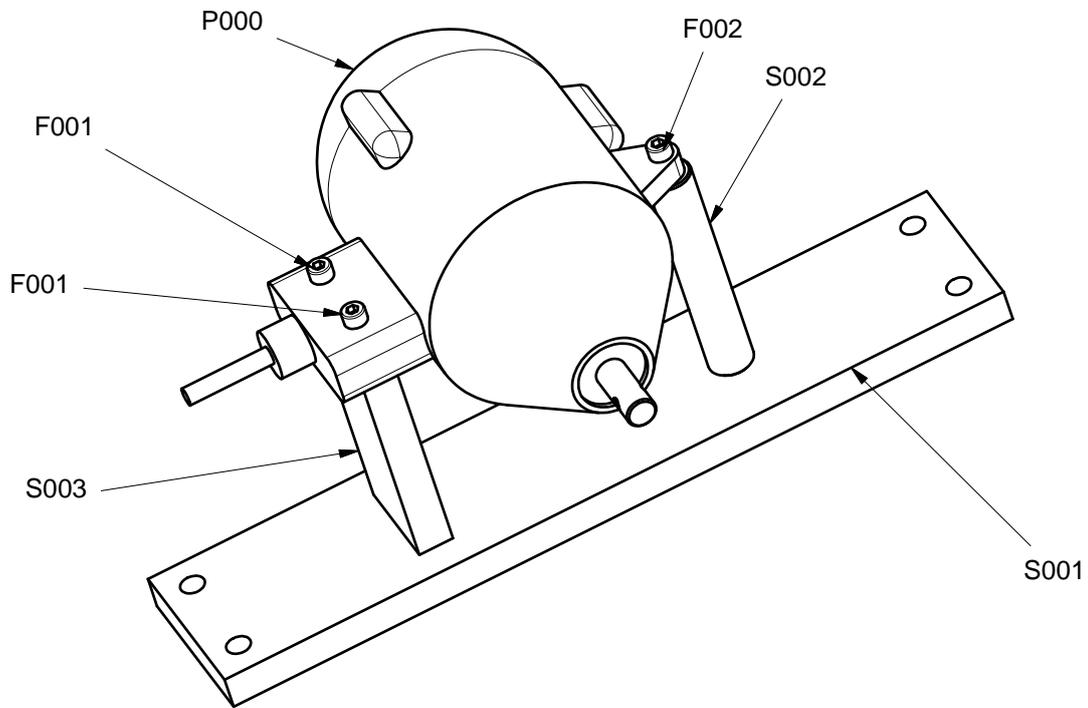
zzgl. Mehrwertsteuer 8 %: SFr 117,85

Gesamtbetrag (zu zahlen): **SFr 1591,00**

Versandart: DPD bis 30 kg

Zahlungsart: Rechnung

Zahlbar innert 30 Tage Netto; Lieferdatum entspricht Rechnungsdatum

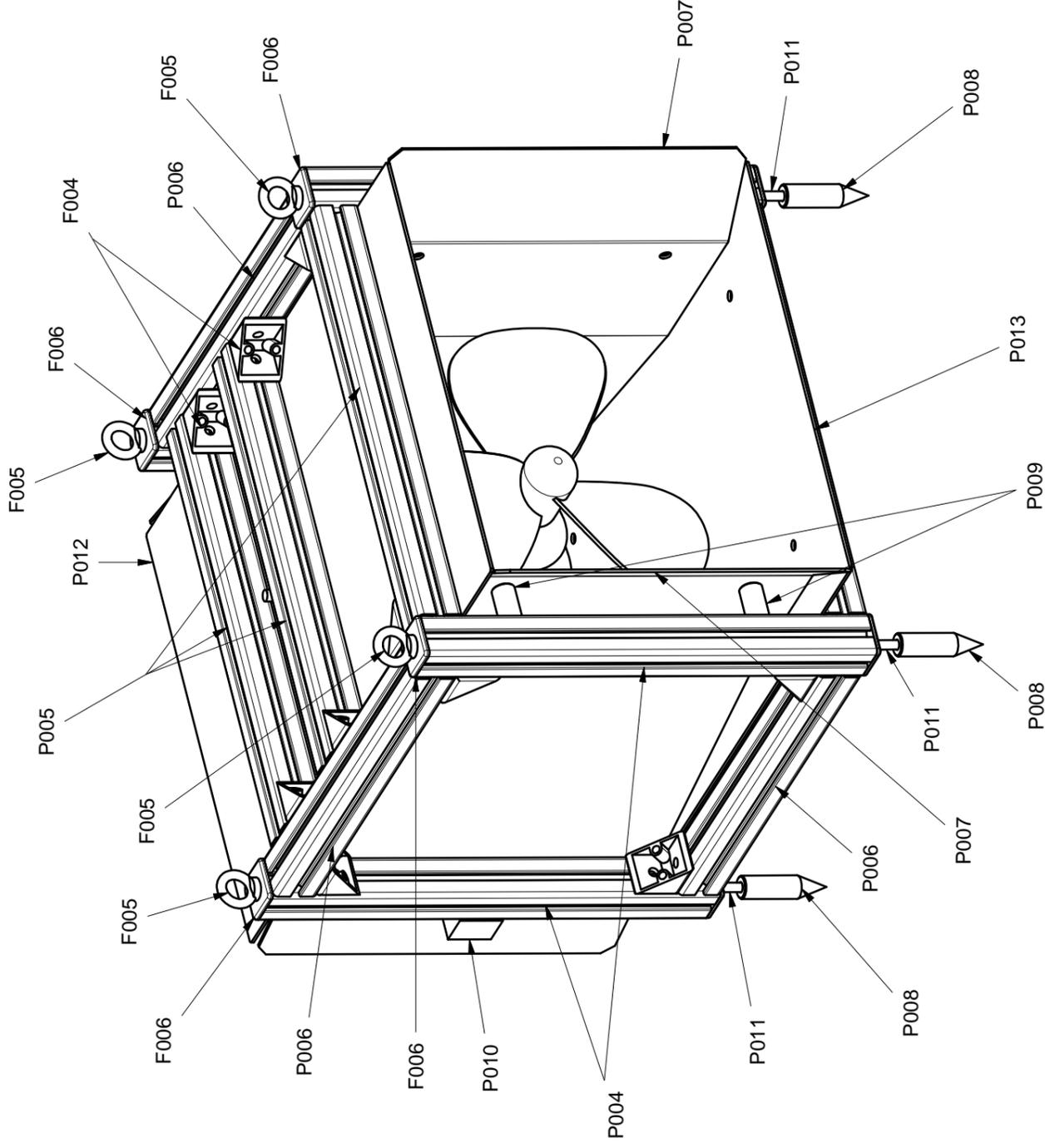
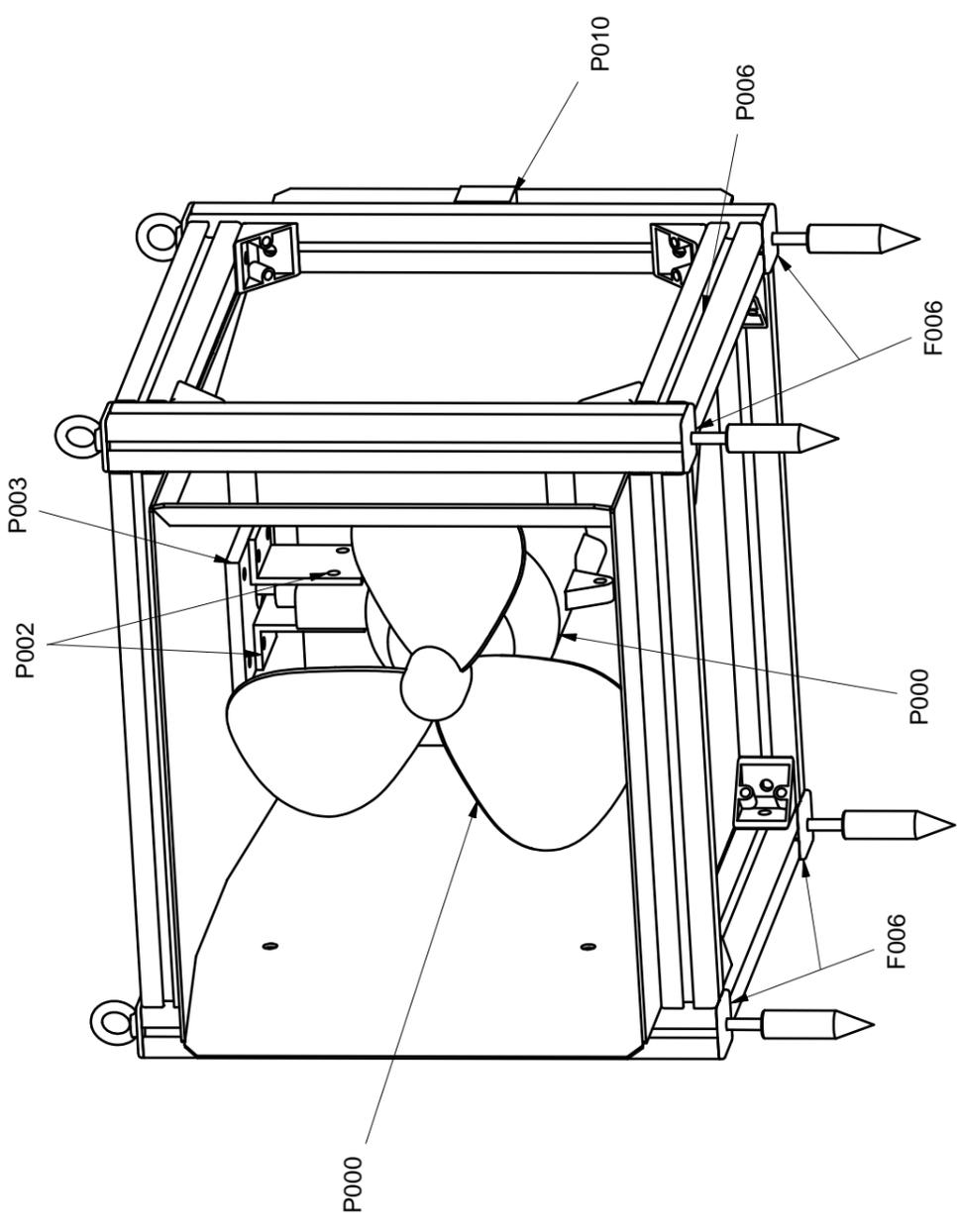


F003	3	Acier inoxydable 440C	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M10 x 20
F001	2	Acier inoxydable 440C	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M8 x 40
F002	1	Acier inoxydable 440C	Vis cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M8 x 25
P000	1	Aluminium	Turbine
S003	1	Aluminium	Barre
S002	1	Aluminium	Tige
S001	1	Aluminium	Plaque de base

Pos.	Quantité	Matière	Dénomination / Caractéristiques
Pos.	Menge	Werkstoff	Benennung / Merkmale

Support pour tests électriques		Dessiné Gezeichnet	gregoire.sauthier	10.07.2014	Echelle Massstab
Turbine		Contrôlé Geprüft			1:5

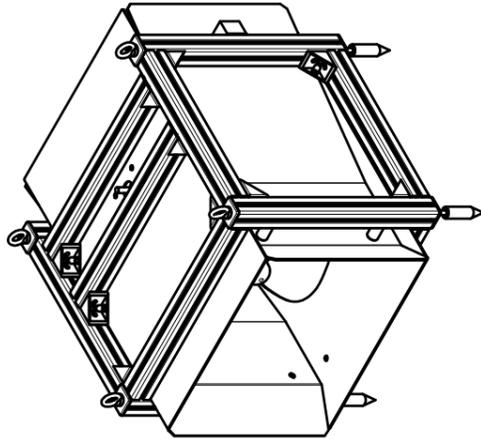
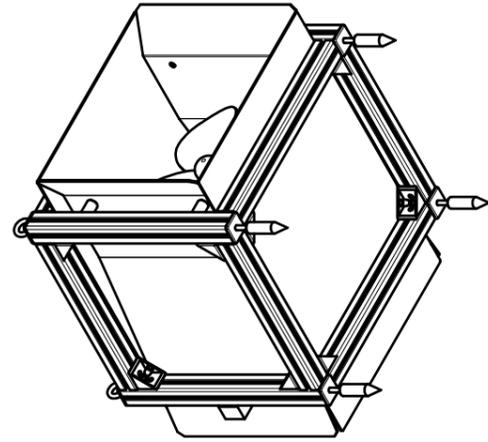
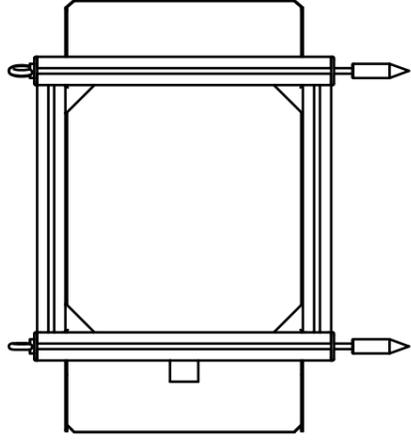
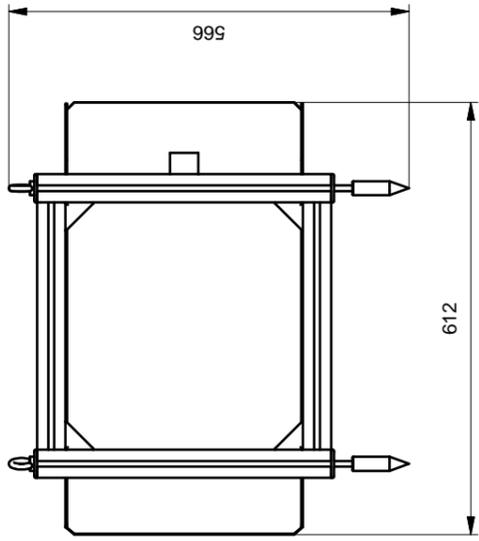
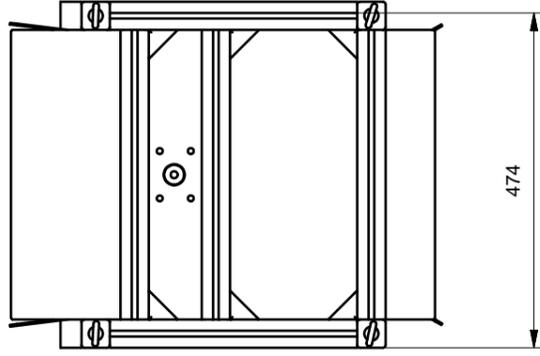
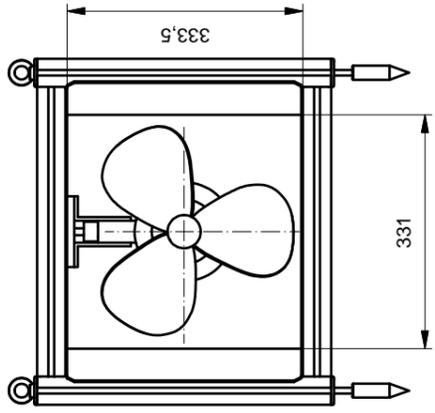
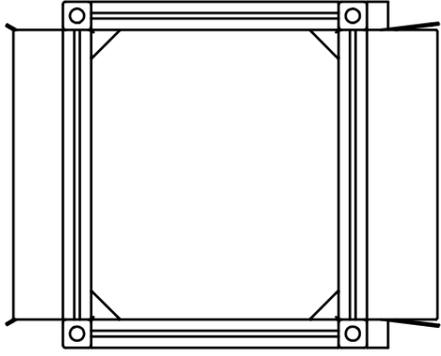
Fichier Z:\Students\Projects\Sauthier_TS_TD_2014\Travail de diplome\CAO\Annexe_3.idw
Datei



F006	8	POM	Cache ITEM
F005	4	Acier	Anneaux de levage M8, DIN580
P013	1	Aluminium	Plaque bas
P012	1	Aluminium	Plaque dessus
P011	4	Acier	Tige filetée
P010	2	Aluminium	Support plaque
P009	4	Aluminium	Câles plaques
P008	4	Aluminium	Pied
F004	18	Acier	Angle Bracket 8 40x40 Zn, white aluminium, similar to RAL 9006
P007	2	Aluminium	Plaque directrice
P006	4	Aluminium	Barre côté
P004	4	Aluminium	Barre Droite
P005	5	Aluminium	Barre dessus
P003	1	Aluminium	Plaque support
P002	2	Aluminium	Equerre support
P000	1	Aluminium	Hélice
P000	1	Aluminium	Turbine
Pos.	Quantité	Matière	Dénomination / Caractéristiques
Pos.	Menge	Werkstoff	Benennung / Merkmale

Carénage turbine		Dessiné	gregoire.sauthier	Echelle
Turbine		Gezeichnet	10.07.2014	Massstab
		Contrôlé		1:5
		Geprüft		

Fichier Z:\Students\Projects\Sauthier_TS_TD_2014\Travail de diplôme\CAO\Annexe_4.idw
Datei



Plan du carénage

Turbine

Dessiné Gezeichnet	gregoire.sauthier	10.07.2014	Echelle Massstab
Contrôlé Geprüft			1:10

Fichier Z:\Students\Projects\Sauthier_TS_TD_2014\Travail de diplome\CAO\Annexe_4b.idw
Datei

Hes-so VALAIS WALLIS

4b