

Energies vertes, énergies renouvelables... le vent, le soleil et l'eau.

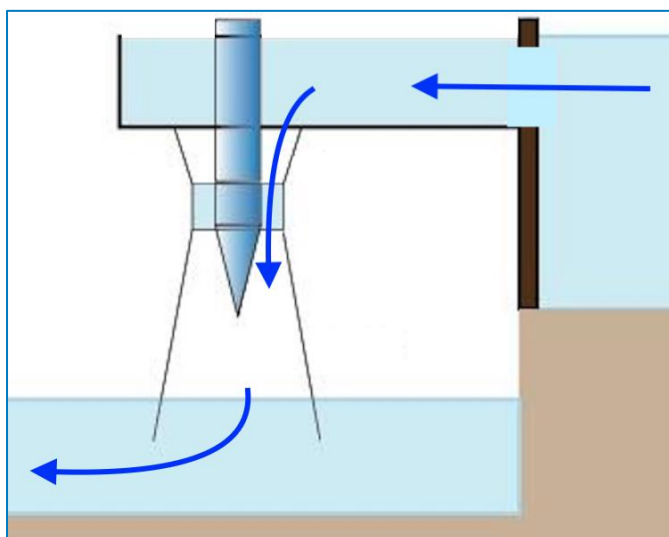
L'association Après-Demain 28 a dans son objet, le développement des techniques liées à la protection de la nature. De nombreuses actions liées aux énergies photovoltaïques sont décrites sur le site aprèsdemain28.fr. C'est grâce à sa localisation géographique à proximité du Loir que l'association s'est intéressée aux moulins et aux infrastructures qu'ils offrent pour une production d'électricité verte.

Historiquement les 90.000 moulins à eau dont Vauban a supervisé l'implantation dans le royaume de France étaient destinés à l'industrialisation des campagnes. Production de farines, tanneries, travail du bois, de la pierre, ces moulins réunissaient des communautés entières de villageois. Petit à petit délaissés avec l'avènement de l'électricité, ils sont aujourd'hui à la merci de destructions insensées alors qu'ils pourraient apporter leur contribution à la souveraineté énergétique tant recherchée !

De la même manière que les énergies renouvelables, le photovoltaïque et l'éolien deviennent progressivement accessibles au grand public sous la forme du DIY¹ (faites le vous-même), Après-Demain 28 propose de réhabiliter les infrastructures existantes dans les moulins hydrauliques au service d'une production d'énergie renouvelable. Créer une turbine avec un budget bien encadré, facile à entretenir, d'une réalisation techniquement accessible à tous.

TUTO – UNE TURBINE DANS MON MOULIN

Ainsi, l'aventure commence fin 2021 avec la construction d'une micro turbine réalisée en mécano-soudé². Turbine du type hélice à flux vertical descendant d'un diamètre de 307mm.



Puissance théorique maximale de 0,8 kW avec la chute d'eau de 70 cm. (croquis ci-contre)

Les premiers essais se déroulent avec un alternateur de voiture. Cette option ne n'est pas validée car le modèle récupéré doit tourner à plus de 2000 tr/mn et de fait beaucoup d'énergie est consommée par le multiplicateur de vitesse. On remplace cet élément par un moteur de vélo cargo à aimants permanents (200€), entraîné

par poulies-courroie de distribution de voiture de récupération (coût = 0).

L'ensemble fonctionne mais divers problèmes apparaissent (le palier inférieur immergé s'use rapidement et surtout en cas de crue de la rivière l'ensemble se retrouve noyé).



Les différents éléments de la première turbine, illustration de la technique mécano-soudé. Enveloppe, hélice, aubes, axe et roulements. L'ensemble est réalisé de décembre à fin janvier 2022.



Néanmoins, cette configuration donne de bons résultats quant à la direction et à l'intérêt d'un tel projet. Cette micro-turbine alimente avec succès un ballon d'eau chaude de 150 litres dédié à une douche.

Cette première approche permet de mettre en évidence les différents aspects qui seront les contraintes de la turbine définitive.

ARRIVEE DE LA MICRO-TURBINE SIPHON INVERSEE

Courant 2023 après quelques recherches sur internet, nous décidons de faire un modèle réduit de la centrale de "La Roque Bouillac"³ sur le Lot.

Cette turbine est du type vertical à courant ascendant produit par un siphon.

Contraintes du projet :



- construction reproductible par des non-professionnels
- pas ou très peu de génie civil (béton, maçonnerie...)
- l'ensemble doit pouvoir être soulevé pour être mis hors crue
- entretien simplifié
- diamètre 343mm (utilisation d'un tube acier fourni par un adhérent)
- coût de revient le plus faible possible

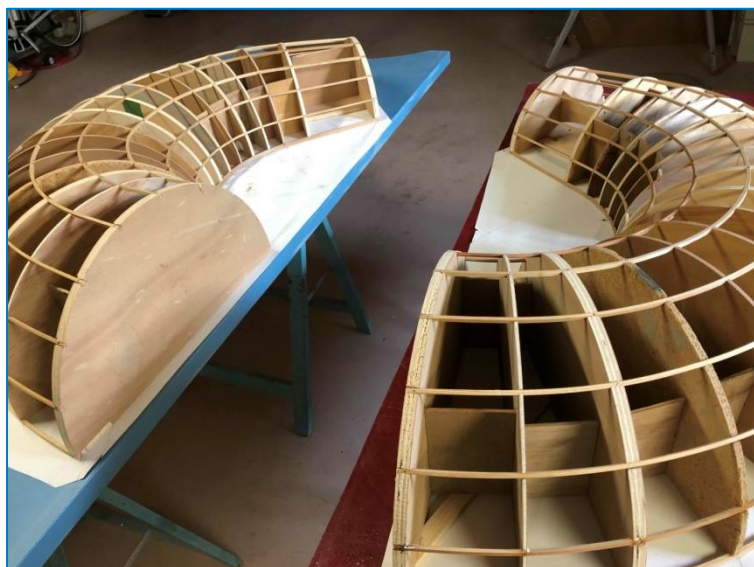
Nous établissons une pré-étude d'un modèle mécano-soudé à

sections carrées et réalisons une maquette fonctionnelle. (photo ci-contre)

L'adoption du polyester comme matériau principal réduit considérablement les coûts de fabrication et augmente les possibilités de diffusion et de reproduction de ce projet. On est donc en parfaite adéquation avec les objectifs de l'association.

Avec l'aide du Canoë Club de Cloyes sur le Loir, nous nous penchons sur la technique des moulages de ce matériau.

Fin 2024 il faut créer les modèles en bois et plâtre afin de produire les moules et premières pièces de l'enveloppe.



Parallèlement, à partir du fichier transmis depuis Saint-Etienne et après une période d'initiation au dessin 3D avec FreeCAD⁴, nous réalisons la maquette de la partie active de la turbine à échelle 1/4 avec l'imprimante 3D d'un Fablab de Châteaudun.

L'impression 3D ouvre de nouvelles perspectives qui vont simplifier et réduire encore un peu plus les coûts de fabrication.

Notre association fait l'acquisition d'une petite imprimante 3D (±500€) compatible avec des matériaux tels que l'ABS, le PETG de base et le PETG chargé de fibres de carbone. Nous réalisons des éprouvettes avec les différentes matières que nous testons. Les premiers résultats nous montrent que le PETG convient à notre utilisation.

Les avantages économiques sont évidents :



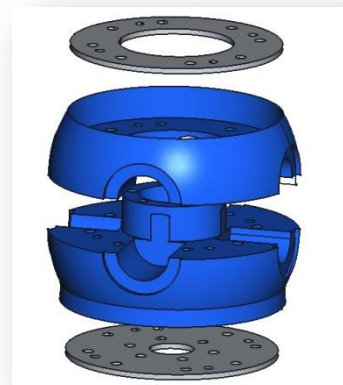
Pale de turbine
impression 3D/PETG

1 Pale en bronze = 1 kg environ soit plus de 30 € de matière + moulage (€ ?)

1 Pale en PETG = 150 g soit 4 € de matière.

1 Moyeu en inox = 10 kg environ soit plus de 150 € + usinage (€€ ???)

1 Moyeu en PETG renforcé par disques inox = 1,5 kg environ, soit 13 € de PETG et 95 € pour les disques inox finis découpés laser.



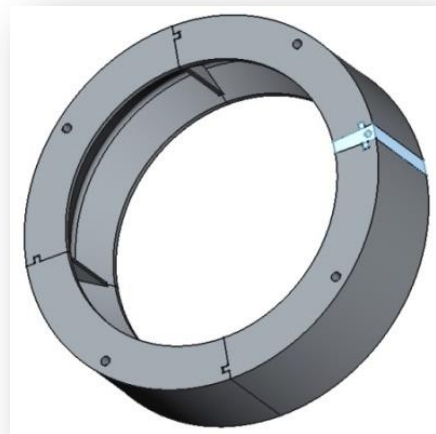
Moyeu impression 3D/PETG
avec les disques en inox

Le PETG choisi pour la réalisation est 100% recyclable. Ce matériau permet un gain de poids considérable. Les coûts de réalisation des pièces réalisées en 3D permettent d'envisager un budget de maintenance raisonnable. Grâce aux nouvelles technologies compatibles avec ce projet nous pouvons rester dans une application "ouverte à tous", en adéquation avec l'objectif initial.



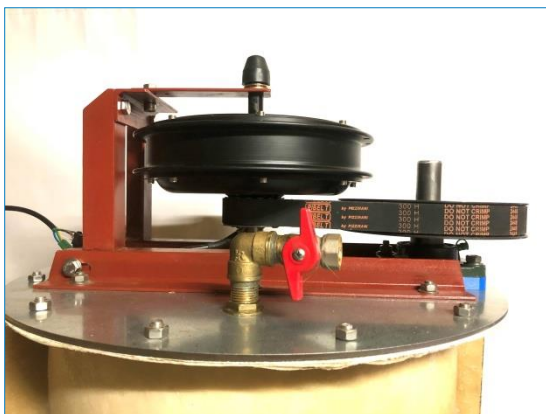
Ensemble des éléments dynamiques. 4 pales insérées sur le moyeu, le tout coiffé par l'ogive. impression 3D/PETG

Ci-dessous le moule du "manteau" de l'hélice avec son tiroir amovible (en bleu clair).



L'hélice, pièce maîtresse de la turbine doit être insérée dans un corps creux parfaitement ajusté, idéalement en acier, appelé "manteau" afin d'optimiser son efficacité. L'imprimante 3D nous ouvre une solution de substitution vers le polyester car nous pouvons réaliser un moule avec tiroir amovible, indispensable pour le démoulage d'un corps cylindrique !

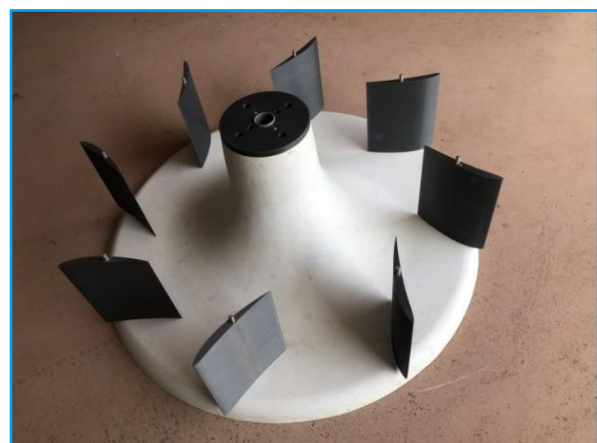
Enfin, pour la génératrice, nous retrouvons un domaine exploité lors de la réalisation de la première micro-turbine (qui a fonctionné jusqu'au remplacement par ce nouveau modèle). Donc, notre choix se tourne vers le moteur de vélo cargo à aimants permanents, entraîné par poulies-courroie crantées.



Ci-dessus, la génératrice. L'axe à droite est en liaison directe avec l'hélice de la turbine qui entraîne le moteur générateur de courant.

Avantages : bon rapport qualité/prix, délivrance d'une tension alternative triphasée de 100 V environ entre phases à 1000 tr/mn directement utilisable sur chauffe-eau..., sonde de température et capteur de vitesse de rotation intégrés.

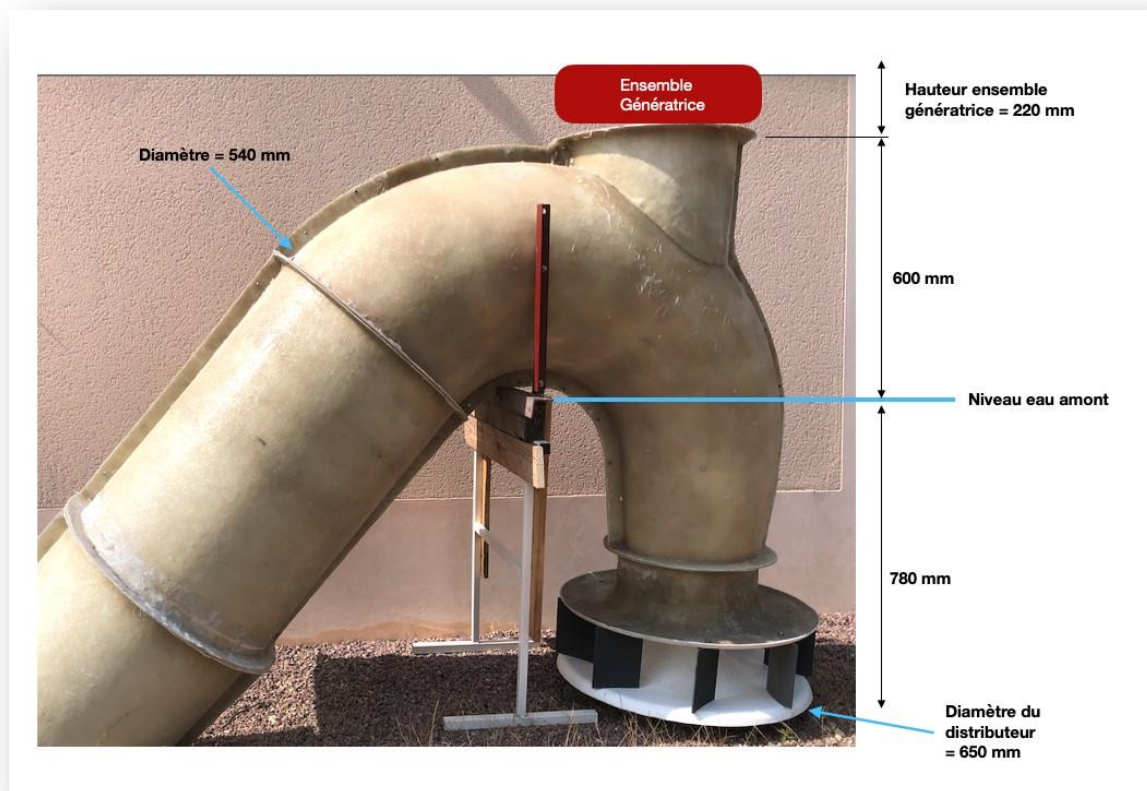
Ci-dessous l'entrée d'eau de la turbine avec le palier inférieur et ses aubes directrices réalisées avec l'imprimante 3D montées sur la base du distributeur moulé en polyester.



Juillet 2025, la fabrication est terminée. Prix de revient de l'ensemble 1620 € + main d'œuvre bénévole (plus de 1000 heures).

LE PROTOTYPE EST FINALISE - Prochaines étapes, essais sur site, mesures des performances et validation de l'ensemble.

La réalisation des prochaines micro-turbines identiques pour des chutes d'eau d'un minimum de 70 centimètres reviendrait à moins de 1300 € + main d'œuvre 150 heures environ.



CARACTERISTIQUES SOUS DIFFERENTES CHUTES D'EAU

Variables	Unité	Valeurs		
Hauteur de la chute d'eau en mètres	m	0,70	1	1,20
Débit d'eau turbiné en m ³ par seconde	m ³ /s	0,185	0,220	0,240
Vitesse de rotation en tours par minute	T/mn	371	443,4	485,8
Puissance brute produite en kilowatts	kW	1,30	2,20	2,90
Rendement turbine		85%	85%	85%
Rendement génératrice		80%	80%	80%
Puissance électrique produite en kilowatts	kW	0,90	1,50	1,90

1 DIY-Do It Yourself – Faites le vous-même – Anglicisme qui indique que vous pouvez réaliser vous-même votre projet, technique, électronique, domestique.

2 La **mécano-soudure** désigne l'assemblage de structures métalliques par des procédés de soudage, après une étape préalable d'usinage ou de découpe des pièces. Le terme combine deux notions clés : "mécano", se référant à la partie mécanique du processus, et "soudure", qui est le procédé physique d'assemblage des matériaux. Cette technique est particulièrement adaptée à la fabrication de structures robustes et complexes.

3 Bulletin de la Société Hydrotechnique de France des 12 et 13 juin 1985. « Certains aspects de l'hydroélectricité de faible puissance quelques études de cas de transitoires hydrauliques » <https://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/1986/01/lhb1986007.pdf>

4 Le concept de **paradigme** a été introduit par le philosophe Thomas Kuhn en 1962 dans son ouvrage « La structure des révolutions scientifiques ».

5 L'ensemble des images 3D sont issues de FreeCAD³ qui est un logiciel open-source et paramétrique de conception assistée par ordinateur (CAO) qui permet aux utilisateurs de créer des modèles 3D détaillés d'objets et de conceptions mécaniques.