



L'ÉNERGIE CITOYENNE ET SOLIDAIRE  
HERRITARREN ENERGIA



INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# Les installations d'aquaponie dans le cadre de pisciculture de montagne

---

RESUME : ETUDE DE LA GESTION ENERGETIQUE

Interreg  
POCTEFA  
ORHI



*Cet accompagnement s'inscrit dans le cadre du projet ORHI qui se déroule sur trois ans, entre 2018 et 2020, co-financé par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) à travers le POCTEFA. Il rassemble 9 partenaires de Navarre, de la Rioja, d'Euskadi, de Nouvelle Aquitaine et de Midi Pyrénées.*

Bixente MATEO-LEKUMBERRI

I-ENER | LUTXIBORDA, 64220 Saint-Jean-le-Vieux

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ETAT DE L'ART .....</b>	<b>2</b>
2.1.	Caractéristiques d'une pisciculture salmonicole en montagne (Pyrénées Atlantiques) .....	2
2.2.	Intégration du système d'aquaponie.....	3
<b>3</b>	<b>OPTIMISATION DE LA GESTION ENERGETIQUE .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1.</b>	<b>L'hydroélectricité .....</b>	<b>5</b>
3.1.1.	Aspect technique .....	5
	Turbine Pelton (Energie douce, s.d.).....	6
	Turbine Francis (Energie douce, s.d.).....	7
	Turbine Kaplan (Wikipedia, s.d.) .....	8
	Hélices (Turbiwatt, s.d.) .....	9
	Banki-Mitchell (Enseeiht, s.d.) .....	10
	Roue à aubes (Gratia-hydro, s.d.) .....	11
	Vis hydrodynamique (Enseeiht, s.d.).....	12
	Turbine VLH (Formatis, s.d.).....	13
	Systèmes en vortex (Turbulent, s.d.) .....	14
	SYNTHESE DES TECHNOLOGIES.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
	Turbines adaptées à la zone étudiée .....	15
3.1.1.	Aspect juridique .....	16
3.1.2.	Aspect financier .....	16
	Estimation du productible.....	16
	Viabilité d'un projet de centrale hydraulique .....	17
3.1.3.	Solution pour les sites sans hauteur de chute (Wikiwand, s.d.) .....	18
3.1.4.	Exemple : pisciculture existante avec une production hydroélectrique.....	18
<b>3.2.</b>	<b>Le photovoltaïque : les sites sans potentiel hydroélectrique .....</b>	<b>20</b>
3.2.1.	Aspect technique .....	20
3.2.2.	Aspect juridique .....	21
3.2.3.	Aspect financier .....	21
	Estimation du productible.....	21
	Viabilité du projet .....	21
<b>4</b>	<b>ETUDE DE CAS : FUTURE FERME DE LA REGION .....</b>	<b>23</b>
4.1.	Descriptif du projet .....	23
4.2.	Potentiel hydroélectrique .....	24
4.3.	Potentiel photovoltaïque .....	25
<b>5</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>28</b>
<b>ANNEXES .....</b>		<b>29</b>
	Table des illustrations .....	29
	Références .....	30

# 1 Introduction

Cette étude, intervient dans le cadre du projet ORHI lui-même inscrit dans le programme POCTEFA. Ce dernier est un programme européen de coopération transfrontalière, impliquant France, Espagne et Andorre. Il vise à appuyer et contribuer à l'évolution des secteurs agroalimentaires territoriaux en promouvant innovation, croissance et développement durable, et en se centrant sur des projets d'économie circulaire.

Cette étude a été commandée par l'Ecole d'ingénieurs ESTIA, dans le cadre de l'accompagnement d'un projet d'application des principes de l'aquaponie aux secteurs piscicoles et maraîchers sur l'ensemble du département Pyrénées-Atlantiques.

Elle présente également des opportunités pour le secteur piscicole, dont la valorisation énergétique (photovoltaïque, hydroélectricité), l'agritourisme dans le secteur aquacole, etc...

Le département des Pyrénées-Atlantiques présente un potentiel unique en France. Torrents de montagne, gaves et plans d'eau se côtoient pour former un réseau hydrographique particulièrement dense, propice à l'existence d'une diversité piscicole considérable. Conscient de la fragilité de cette richesse environnementale et piscicole ainsi que des enjeux liés à l'eau, la démarche ORHI s'inscrit dans l'objectif de préservation de ces cours d'eau et d'amélioration de la filière.

À la suite de plusieurs entretiens, l'étude de la valorisation énergétique des installations d'aquaponie dans le cadre de pisciculture de montagne a été confiée à I-ENER, société citoyenne du Pays Basque œuvrant dans le développement des énergies renouvelables vers une souveraineté énergétique du territoire.

## 2 Etat de l'art

### 2.1. Caractéristiques d'une pisciculture salmonicole en montagne (Pyrénées Atlantiques)

Les Pyrénées-Atlantiques, par leur position géographique et leur morphologie, subissent des influences océaniques marquées ce qui se traduit par un hiver rude, des gelées tardives, des étés chauds et orageux ainsi que des précipitations abondantes. Les brouillards sont fréquents dans les vallées de montagne et les vents forts peuvent balayer les premiers reliefs des Pyrénées.

Deux modes d'alimentation en eau sont privilégiés par les pisciculteurs du département : la dérivation de rivières et les sources. D'autres modes d'alimentation peuvent être utilisés selon les opportunités hydro-géographiques des exploitations comme les forages et pompages en rivières mais de manière générale, les lacs et retenues d'eau sont très peu utilisés.

Les 20 piscicultures du département des Pyrénées Atlantique réalisent en total une production de **2 123 tonnes** de salmonidés principalement axé sur la grande truite (2 à 5 kg). Sept de ces piscicultures étant situées dans un et même bras de la Nive, la Nive des Aldudes, notre étude se basera essentiellement sur les caractéristiques de ces sites, exclusivement alimentées en dérivation des rivières.



Figure 1 : Pyrénées Atlantiques

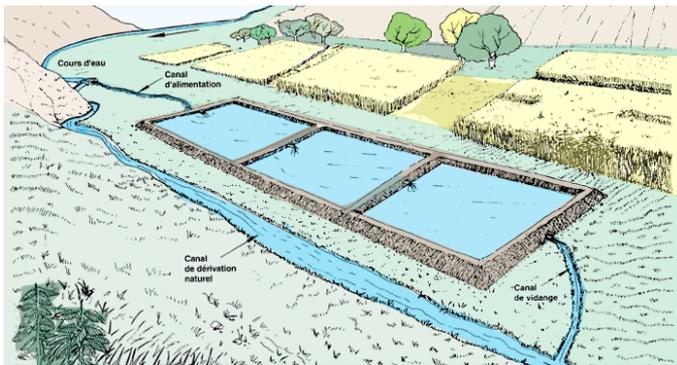


Figure 3 : Exploitation en série

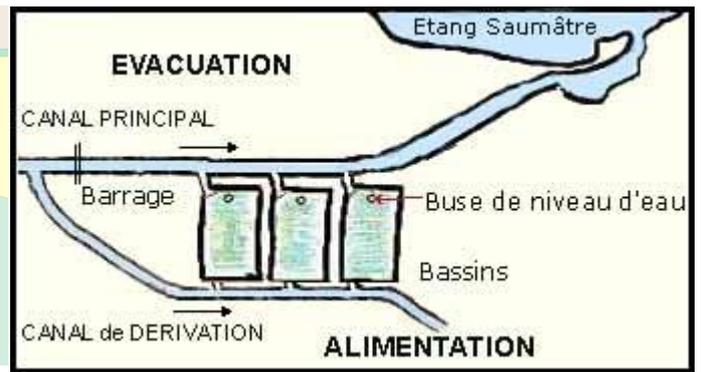


Figure 2 : Exploitation en parallèle

Les piscicultures en dérivation des rivières sont composées d'un seuil ou d'une retenue d'eau, d'un canal d'aménagé, des bassins d'exploitations et d'un canal de restitution. Il y a ensuite 2 systèmes d'exploitation des bassins que l'on peut distinguer sur les images ci-dessus : en série ou en parallèle. Une exploitation en parallèle permet d'avoir une qualité de l'eau équilibrée dans toute l'exploitation (de l'oxygène notamment) mais complexifie la valorisation hydroélectrique du site car le débit est divisé en plusieurs parties.

## 2.2. Intégration du système d'aquaponie

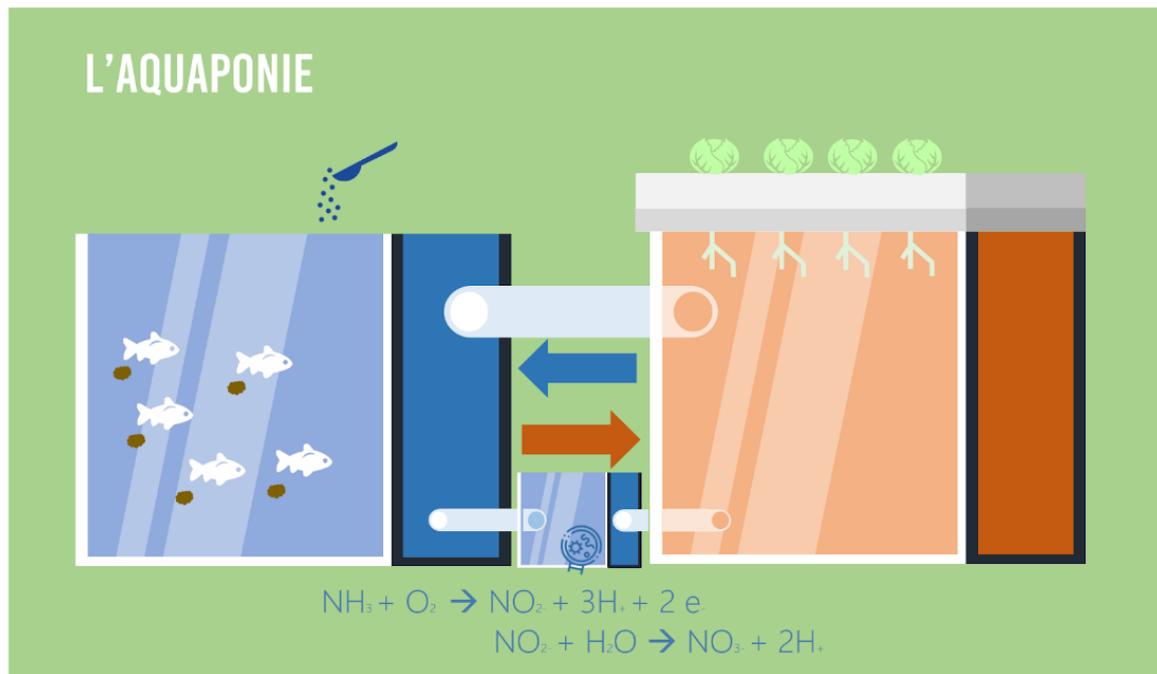
Un système aquaponique regroupe une unité d'aquaculture, couplée à une production de plantes hors sol. Les rejets dissous (ammoniac et phosphore) issus du métabolisme des organismes aquacoles sont une source de nutriments facilement assimilables par les racines des végétaux. Cela implique le plus souvent une étape préalable d'élimination des matières particulaires via une filtration mécanique. En effet, les matières solides de l'eau d'élevage présentent des risques importants de prolifération de bactéries anaérobies, potentiellement néfastes. S'ensuit une étape de dégradation microbienne des composés ammoniacaux avec l'aide des bactéries nitrifiantes. Il s'agit d'une filtration biologique durant laquelle les composés sont dégradés en nitrites puis en nitrates. Ces derniers étant la forme de l'azote assimilable par les plantes.



Figure 4 : Hydroponie

Ainsi, l'eau peut être acheminée jusqu'au compartiment horticole afin d'être phytoépurée et assurer la croissance végétale. Ces systèmes permettent un recyclage de l'eau supérieur à 90%. Par ce biais, l'impact sur la ressource en eau extérieure devient minime tout en permettant une qualité physico-chimique de l'eau recirculée parfaitement saine pour les trois compartiments du système aquaponique. Certains systèmes aquaponiques peuvent être totalement dépourvus de rejets, les matières solides étant transformées par un lombrifiltre dont le thé de compost (seul rejet) est valorisé dans les boucles végétales.

Les recherches récentes sur différents continents ont montré qu'il n'existait pas de différence de rendement entre un système hydroponique et un système aquaponique sur le volet végétal, voire même parfois un meilleur rendement sur la production de plantes à feuilles en aquaponie.



*Figure 5 : Fonctionnement général aquaponie*

L'aquaponie est un système vertueux qui présente beaucoup d'avantages, elle :

- Réduit la pollution des rivières.
- Valorise les déchets de l'élevage piscicole.
- Diversifie les activités de l'exploitation avec l'aquaculture.
- Réduit le prélèvement d'eau nécessaire pour le bon fonctionnement de l'exploitation.

Cependant, toute cette installation est composée de filtres mécaniques et de pompes hydrauliques pour maintenir la circulation de l'eau dans ce circuit fermé, elle demande donc un apport énergétique supplémentaire. Cette étude proposera donc différentes manières de produire l'énergie nécessaire au fonctionnement de toute l'exploitation.

## 3 Optimisation de la gestion énergétique

### 3.1. L'hydroélectricité

L'énergie hydroélectrique, ou hydroélectricité, est une énergie électrique renouvelable qui est issue de la conversion de l'énergie hydraulique en électricité. Ses atouts sont qu'elle est renouvelable, d'un faible coût d'exploitation, responsable de peu d'émissions de gaz à effet de serre, locale donc amenant une décentralisation de l'énergie, non délocalisable et également stockable dans certains cas.

Notre région très montagneuse possède une multitude de cours d'eau de faibles débits avec de basses hauteurs de chutes. L'installation de centrales hydrauliques de lacs ou de hautes chutes avec de l'énergie stockable est donc impossible, mais la technologie dite au fil de l'eau reste pertinente. Cette catégorie est aussi appelée « petite centrale hydraulique » et produit de l'électricité en continu car la retenue maximale de l'eau est inférieure à 2 heures, avec une puissance pouvant aller jusqu'à 10MW. Etant donné que la Nive des Aldudes voit son débit varier principalement entre 1 et 7m<sup>3</sup>/s avec une hauteur de chute allant de 1 à 10 m, les puissances installées peuvent difficilement dépasser 100kW ; nous parlerons dans notre cas de « micros-centrales », voire « pico-centrales » car les débits circulant dans les piscicultures sont limités.

#### 3.1.1. Aspect technique

Il existe aujourd'hui différentes technologies pour transformer la force motrice de l'eau en une énergie mécanique rotative, avant sa conversion en énergie électrique via des générateurs. Les technologies actuelles pour cette première conversion, appelées plus communément « turbines », seront synthétisées dans cette partie. Certaines des turbines existent depuis quelques décennies (turbines Pelton, Francis, Kaplan, Banki-Mitchell...) alors que d'autres sont des technologies plus récentes avec naturellement des données moins fiables (système vortex, vis hydrodynamique).

Il faut savoir que les turbines sont dimensionnées pour une hauteur de chute et un débit nominal précis pour chaque installation (Q<sub>max</sub>). Cependant, dans des régions comme le Pays Basque où le débit des cours d'eau est très variable, il est intéressant d'avoir une turbine pouvant être efficace également pour des débits inférieurs à Q<sub>max</sub>.

En guise de première approche, voici un schéma représentant l'adaptabilité des turbines « classiques » et leur rendement pour des débits inférieurs au débit nominal de l'installation.

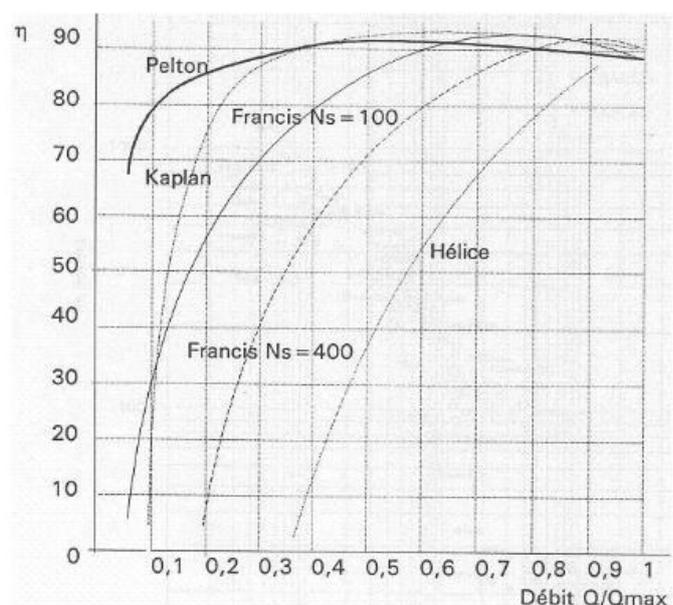


Figure 6 : Adaptabilité des turbines aux débits variables

## Turbine Pelton (Energie douce, s.d.)

### Principe de fonctionnement

Cette turbine transforme l'énergie potentielle de l'eau venant d'une conduite forcée en énergie cinétique, par l'action d'un jet d'eau sur les augets de la roue. Ce type de turbine ne dispose pas de diffuseur (ou d'aspirateur) en sortie d'eau, l'eau s'écoule librement à la pression atmosphérique. C'est une turbine à « action » car la roue étant à l'air libre, la pression d'entrée de la conduite est égale à la pression de sortie.

D'après le calcul de la vitesse spécifique, ces turbines sont adaptées à des chutes hautes et bas débits.

### Composition

- Roue à augets
- Injecteur(s) : réglage entrée
- Déflecteur : déviation du jet d'eau (urgence)
- Bâche : contre les projections d'eau

### Tarifs et spécifications

- $10\text{m} < H < 1000\text{m}$
- $20\text{l/s} < Q < 1000\text{l/s}$
- $500\text{tr/mn} < N < 1500\text{tr/mn}$  (pas de multiplicateur)
- Rendement max = 90%
- Réglage de l'arrivée d'eau par des injecteurs

### Avantages

- Adaptée aux bas débits variables
- Pas de multiplicateur
- Très bon rendement

### Inconvénients

- Nécessite une haute chute importante
- 0% de chance de survie pour les poissons entrant dans le conduit.

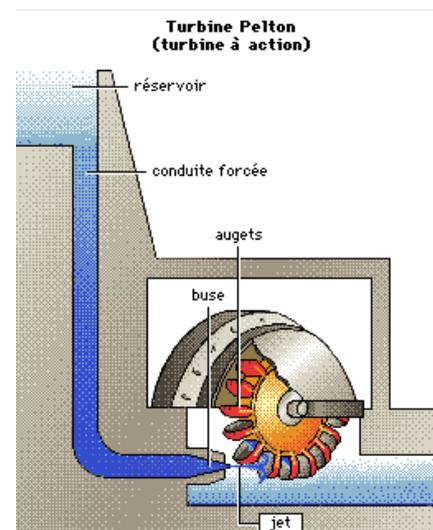


Figure 7 : Turbine Pelton

## Turbine Francis (Energie douce, s.d.)

### Principe de fonctionnement

La turbine Francis est de type réaction, car elle utilise la pression de l'eau en plus de son énergie cinétique pour créer la force rotative. La roue fixe est montée au centre d'une "bâche spirale" à l'intérieure de laquelle se trouve le distributeur. Cette bâche est une conduite en forme de colimaçon de section progressivement décroissante reliée, d'une part à l'extrémité aval de la conduite forcée, et d'autre part à la section d'entrée du distributeur. La bâche est dimensionnée de façon à ce le débit passant à travers reste constant.

Cette technologie est adaptée aux moyennes chutes et débits moyens.



Figure 8 : Turbine Francis

### Tarifs et spécifications

- $10\text{m} < H < 200\text{m}$
- $0.1\text{m}^3/\text{s} < Q < 10\text{ m}^3/\text{s}$
- Vitesse de rotation rapide :  $N = 1000\text{ tr/mn}$
- Rendement  $> 80\%$
- Chute du rendement avec  $P_{\text{min}} < 60\% \times P_{\text{nom}}$
- Conduite forcée nécessaire (avec sortie d'air)

### Avantages

- Adaptées aux moyennes chutes et débits faibles/moyens
- Bon rendement
- Robuste

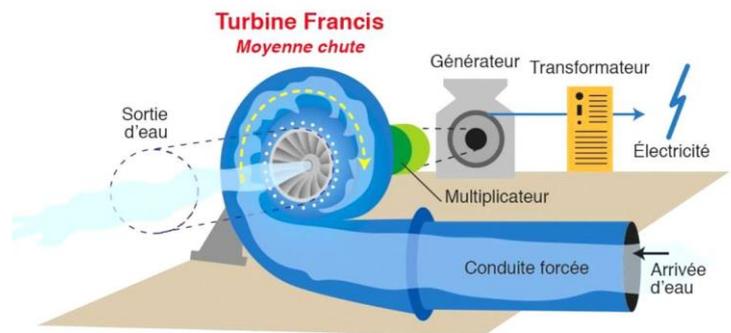


Figure 9 : Fonctionnement turbine Francis

### Inconvénients

- Mauvais pour les débits très variables (avoir 2 turbines :  $2/3 P_{\text{max}} + 1/3 P_{\text{max}}$ )

## Turbine Kaplan (Wikipedia, s.d.)

### Principe de fonctionnement

Les turbines Kaplan (de type réaction) se caractérisent par leur roue qui est similaire à une hélice de bateau dont les pales sont réglables en marche.

L'eau est dirigée vers le centre de la roue par un cercle de vannage orientable (double réglage) ou fixe (simple réglage). A la sortie un aspirateur permet de limiter les effets de turbulence.

Elles sont les plus appropriées pour le turbinage des faibles chutes et des débits importants.



Figure 10 : Turbine kaplan

### Tarifs et spécifications

- $H < 20\text{m}$
- $2 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 800 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diverses orientations (verticale, horizontale, inclinée, bulbe, siffon...)
- Vitesse de rotation assez faible :  $50 \text{ tr/min} < N < 250 \text{ tr/min}$
- Multiplicateur nécessaire
- Rendement nominal = 90%
- $P_{\text{min}} = 20\% \times P_{\text{nom}}$
- Diamètre :  $1\text{m} < D < 10\text{m}$

### Avantages

- Adaptées aux basses chutes
- Adaptées aux débits variables
- Bon rendement
- Robuste

### Inconvénients

- Phénomène de cavitation amenant une érosion prématurée, des vibrations et une perte de rendement
- Débit important nécessaire

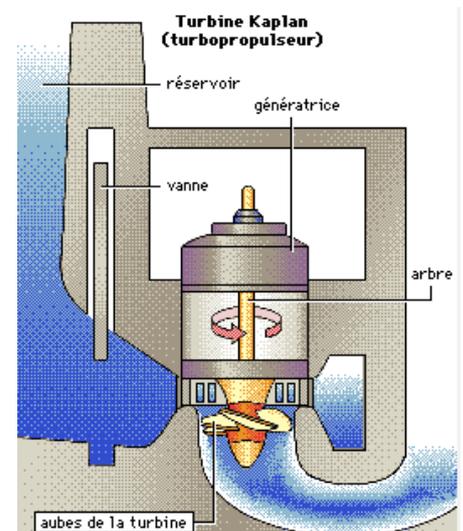


Figure 11 : Fonctionnement turbine Kaplan

## Hélices (Turbiwatt, s.d.)

### Principe de fonctionnement

Les turbines hélices sont des Kaplan avec des pales fixes et sans cercle de vannage. L'orientation optimale des pales est déterminée durant la conception de la turbine, selon la hauteur de chute et le débit du site étudié. Les turbines ont donc un cout de fabrication moindre.

Ces turbines sont également adaptées pour les basses chutes et faibles débits (constants).

### Tarifs et spécifications

- $H < 10\text{m}$
- $0.5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diverses orientations (verticale, horizontale, inclinée...)
- Rendement nominal = 80%
- $P_{\text{min}} = 90\% \times P_{\text{nom}}$

### Avantages

- Adaptées aux basses chutes
- Adaptées aux faibles débits
- Faible cout
- Peu de maintenance
- Installation simple
- Génie civil simple

### Inconvénients

- Mauvais rendement avec un débit variable
- Structure souvent légère

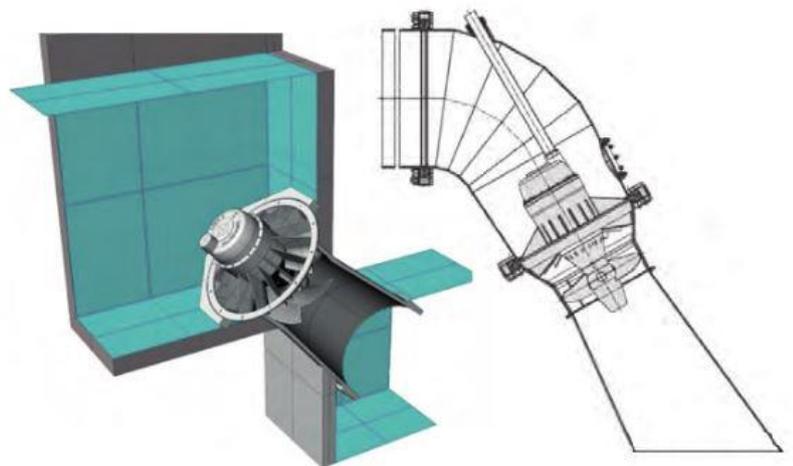


Figure 12 : Turbine hélice

## Banki-Mitchell (Enseeiht, s.d.)

### Principe de fonctionnement

C'est une turbine à action, à flux traversant. La relative simplicité de la turbine réside dans l'écoulement bidirectionnel de l'eau. L'eau traverse deux fois les pales de la turbine, ce qui d'ailleurs lui donne plusieurs avantages : installation simple, efficacité améliorée, nettoyage de la turbine et maintenance non nécessaire.

Cette turbine est adaptée aux bas débits, ainsi qu'au débits variables si la turbine a deux compartiments ( $2/3 P_{max} + 1/3 P_{max}$ ).

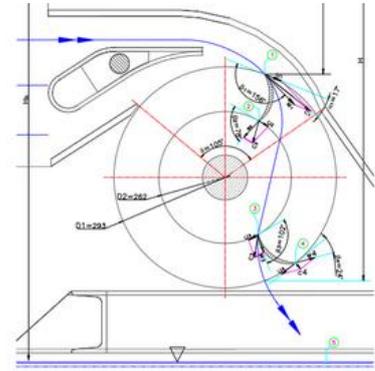


Figure 13 : Turbine Banki-Mitchell

### Tarifs et spécifications

- $3m < H < 150m$
- $20l/s < Q < 7m^3/s$
- Vanne directrice
- Charge partielle possible (s.r. image)
- Rendement maxi = 85%
- $P_{min} = 15\% \times P_{nom}$
- Associée à un multiplicateur de vitesse
- Conception simplifiée : turbine économique
- Peu de maintenance

### Avantages

- Adaptée aux basses chutes bas débits
- Adaptée aux débits variables
- Bon rendement
- Système peu cher
- Maintenance minimisée
- Robuste

### Inconvénients

- Non ichtyocompatible

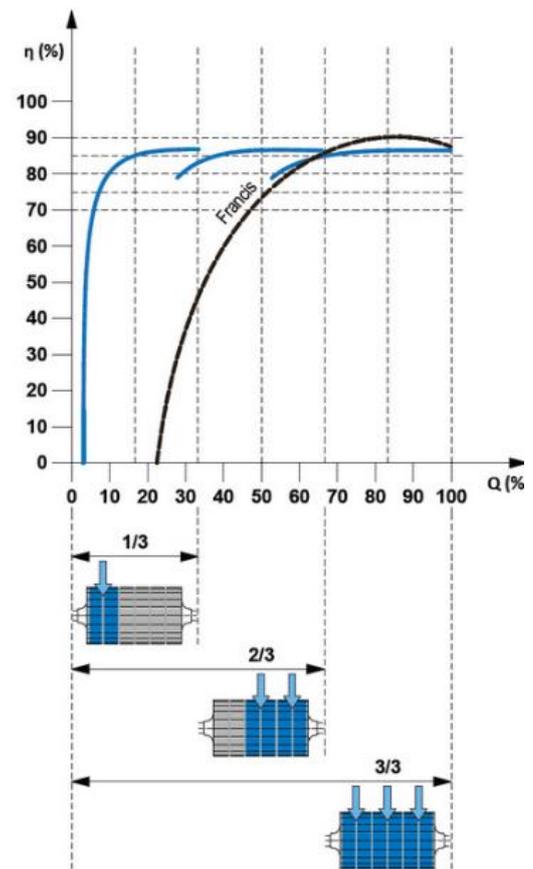


Figure 14 : Banki-Mitchell 2 compartiments

## Roue à aubes (Gratia-hydro, s.d.)

### Principe de fonctionnement

La roue à aubes a équipée la majorité des moulins avant le XIX<sup>e</sup> siècle, puis s'est vu petit-à-petit remplacée par les turbines de nouvelle génération (Fontaine, Francis...) plus rentables. Néanmoins, cette roue étant totalement inoffensive pour les poissons et respectueuse de la continuité écologique, des versions plus modernes de la roue à aubes sont aujourd'hui en cours de développement.

Cette roue a été utilisée tout d'abord « au fil de l'eau » avec un flux entrant par le bas, puis a vu son rendement s'élever quand elle a été disposée de façon à ce que le flux entre par le côté ou par le dessus.



Figure 15 : Roue à aubes

C'est une turbine de type active dont le système reste très simple, avec peu de génie civil. Elle est adaptée pour les basses chutes et faibles débits.

### Tarifs et spécifications

- Rendement :  $80\% < \eta < 90\%$
- $H < 12\text{m}$
- $Q < 3\text{m}^3/\text{s}$
- Conception simple du système
- Faible vitesse de rotation
- $P_{\text{min}} = 0.2 \times P_{\text{nom}}$

### Avantages

- Adaptée aux basses chutes et faibles débits
- Adaptées aux débits variables
- Ichtyophile grâce une faible vitesse de rotation
- Peu de génie civil
- Peu de maintenance

### Inconvénients

- Rendement plus faible que les turbines classiques
- Version moderne en cours de développement
- Peu d'informations techniques

## Vis hydrodynamique (Enseeiht, s.d.)

### Principe de fonctionnement

Les turbines à vis (type active) sont similaires aux vis sans fin des pompes de bassin de décantation. La turbine à vis comprend un rotor placé dans le conduit d'écoulement et relié à un générateur asynchrone par le biais d'un mécanisme de transmission.

Cette turbine est adaptée aux basses chutes et bas débits.

### Tarifs et spécifications

- Faible vitesse de rotation
- $P_{min} = 10\% \times P_{nom}$
- Rendement maxi = 87%
- Associée à un multiplicateur de vitesse

### Avantages

- Passage des poissons possible (ichthyocompatible)
- Adaptée aux basses chutes et bas débits
- Adaptée aux débits variables
- Bon rendement
- -40% de génie civil

### Inconvénients

- Système assez onéreux

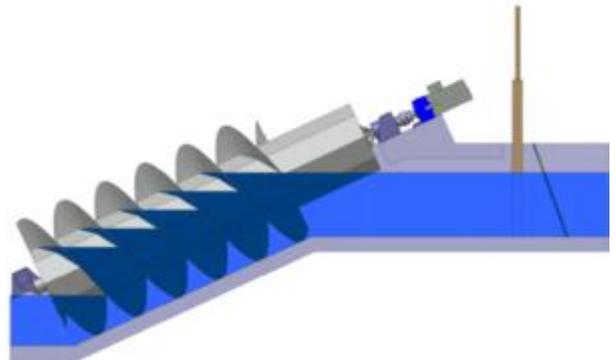


Figure 16 : Vis hydrodynamique

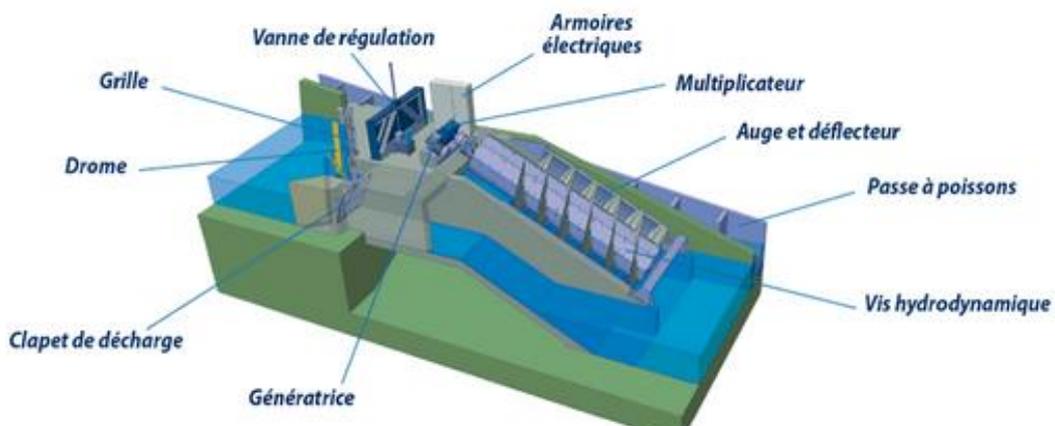


Figure 17 : Vis hydrodynamique détaillée

## Turbine VLH (Formatis, s.d.)

### Principe de fonctionnement

La turbine « très basse chute » (*Very Low Head*, brevetée en 2003) est une évolution de la turbine Kaplan à ouverture variable (donc de type active), conçue pour protéger la faune piscicole en dévalaison.

La turbine est assimilable à une Kaplan simple réglage inclinée, de grand diamètre et tournant lentement.

Cette turbine est adaptée aux basses chutes et aux hauts débits.

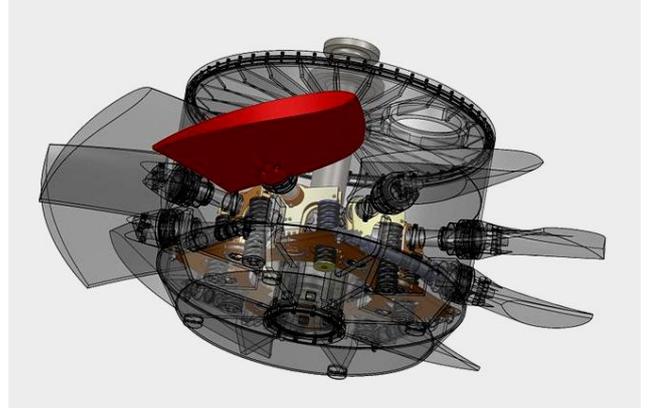


Figure 18 : Turbine VLH

### Tarifs et spécifications

- $1.5\text{m} < H < 5\text{m}$
- $10 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 30 \text{ m}^3/\text{s}$  par machine
- Vitesse d'écoulement = 1 m/s
- Vitesse de rotation :  $30 \text{ tr}/\text{min} < N < 50 \text{ tr}/\text{min}$
- Rendement = 90%
- Diamètre :  $3\text{m} < D < 5\text{m}$
- Inclinaison de  $40^\circ$  environ
- Fonctionnement grâce à l'inertie essentiellement
- Alternateur incorporé avec convertisseur de fréquence
- Pales réglables

### Avantages

- Adaptée aux basses chutes et aux débits variables
- Génie civil réduit
- Faible nuisance sonore et visuelle
- Installation rapide
- Vitesse de rotation faible (Ichtyophile)
- Simple mise en hors d'eau pour la maintenance
- Dégrillage automatique



Figure 19 : Système complet VLH

### Inconvénients

- Débit important nécessaire
- Puissance minimale de 100kW nécessaire pour trouver une rentabilité

## Systemes en vortex (Turbulent, s.d.)

### Principe de fonctionnement

L'entrée d'eau tangente à la chambre de forme circulaire et la sortie verticale, située au centre de la chambre d'eau, provoquent la création d'un vortex. Cette turbine de type active est finalement une hélice avec des pales orientées de manière particulière.

C'est une turbine est adaptée aux basses chutes et faibles débits. Toutefois, la technologie étant encore récente, il y a un manque de données techniques disponibles pour l'instant.

### Tarifs et spécifications

- $1.5 < H < 5\text{m}$
- $1 < Q < 8 \text{ m}^3/\text{s}$

### Avantages

- Adaptée aux basses chutes et faibles débits
- Ichtyocompatible
- Installation simple
- Génie civil simple

### Inconvénients

- Perte en hauteur de chute (pas d'aspiration)
- Technologie pas encore mature

### Références

- <https://www.turbulent.be/homepage>

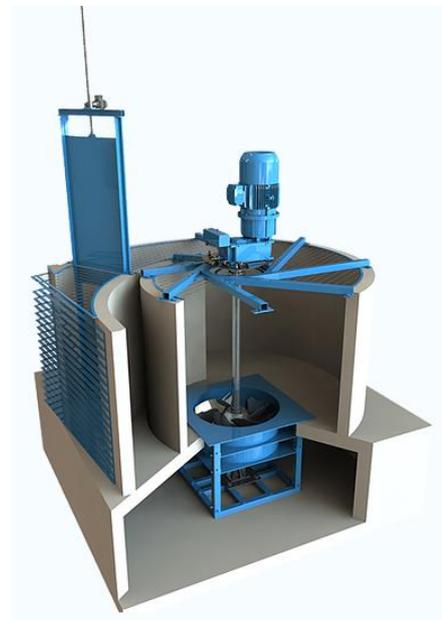


Figure 20 : Système vortex turbulent

## Turbines adaptées à la zone étudiée

L'étude se portant dans une zone géographique bien définie, nous pouvons filtrer les solutions existantes et déterminer quelles seraient les plus adéquates par rapport aux caractéristiques du territoire. Dans la vallée des Aldudes, zone montagneuse du Pays Basque, le débit moyen circulant dans le cours d'eau est de l'ordre de 7m<sup>3</sup>/s au niveau de Baigorri, 5m<sup>3</sup>/s à Banca et 1m<sup>3</sup>/s à Urepel. Le débit de prélèvement autorisé aux piscicultures est donc également très limité d'autant plus que la rivière est considérée comme stratégique pour les poissons migrateurs. Par ailleurs, le relief de la vallée limite considérablement la pisciculture dans sa dimension réduisant ainsi la quantité d'eau nécessaire pour le bon fonctionnement de l'exploitation.

Voici le débit maximal autorisé pour quelques piscicultures de la vallée :

- Pisciculture Ispéguy à Baigorri : 1200l/s
- Pisciculture Truite de Banca : 300l/s
- Pisciculture Harispe aux Aldudes : 800l/s
- Pisciculture Arraina à Urepel : 150l/s

La turbine mise en place devra donc être adaptée à des **faibles débits** situés entre **50m<sup>3</sup>/s et 1500m<sup>3</sup>/s**. Il faut également garder en tête qu'un système aquaponique viendrait réduire fortement le débit d'eau nécessaire pour l'élevage.

Nous pouvons d'ores et déjà éliminer les technologies demandant un débit trop important : la turbine Kaplan, la vis hydrodynamique, la turbine VLH ainsi que le système vortex Turbulent.

Le choix de la turbine se portera également en fonction de la hauteur de chute existante sur le site. La meilleure solution serait de turbiner la chute d'eau en **sortie de pisciculture**, l'eau étant filtrée et déjà utilisée par l'exploitation ce qui ne perturbera pas l'élevage des truites. Connaissant les chutes existantes au niveau de la restitution de l'eau des piscicultures de la vallée et en définissant une hauteur minimale de 1m pour prétendre à une production hydroélectrique intéressante, la turbine doit être adaptée à des hauteurs des chutes entre **1m et 6m**.

Le prix de la turbine sera également un critère très important car les installations ne pourront pas avoir un productible élevé au vu du faible débit circulant dans les piscicultures. Sur un faible chiffre d'affaire, il faut choisir un système simple pour **réduire** au maximum **les coûts** afin d'avoir un retour sur investissement acceptable. Le débit d'une pisciculture étant quasi-constant tout au long de l'année il n'y a pas nécessité de mettre en place une turbine « flexible » et adaptable à la variation du débit, qui impliquerait un surcoût à l'achat de la turbine avec une maintenance complexe.

Les turbines privilégiées pour l'autonomie énergétique d'un système d'aquaponie sur une pisciculture en zone montagneuse sont donc :

- La Banki-Mitchell à 1 compartiment.
- La roue à aubes.
- L'hélice.

### 3.1.1. Aspect juridique

Toute modification dans le lit d'un cours d'eau demande un accord administratif. La construction, l'agrandissement ou la rénovation d'un seuil est actuellement très compliqué compte tenu des enjeux existants dans les rivières concernant la biodiversité aquatique et la continuité écologique.

Notre étude portant sur l'équipement de piscicultures en activités ayant déjà des droits d'eau, l'autorisation administrative est obtenue plus aisément, à condition de ne pas vouloir augmenter le débit dérivé au prélèvement. Cependant, un dossier administratif est demandé dans le cas où la future turbine veut être installée en restitution de l'eau au niveau du lit de la rivière, ou sur le canal (type hydrolienne). L'autorisation administrative est finalement nécessaire pour toute modification envisagée dans des endroits accessibles à la vie aquatique, donc jusqu'à la grille d'une exploitation.

Généralement l'impact écologique d'une installation située en sortie de pisciculture est très léger, l'autorisation administrative est donc une formalité.

### 3.1.2. Aspect financier

#### *Estimation du productible*

Le dimensionnement du projet est la première étape pour l'installation d'une centrale hydraulique. Cela permet d'évaluer la puissance optimale à installer pour avoir le meilleur productible possible. Cette puissance se calcule avec la formule suivante :

$$P = Q \times h \times G \times \rho$$

P : puissance préconisée (kW)

Q : débit moyen disponible (m<sup>3</sup>/s)

h : hauteur de chute (m)

G : accélération de la pesanteur = 9.81 m/s<sup>2</sup>

ρ : rendement de la turbine

La hauteur de chute et le rendement de la turbine choisie sont des données rapidement relevées alors que le module est un paramètre plus subtil qui nécessite une méthode bien particulière.

En effet, le débit est très variable tout au long de l'année avec, de plus, des années sèches et humides. Déterminer un débit moyen annuel requiert donc un travail sur des dizaines d'années. Les débits les plus fiables sont donnés par les stations de mesures, disposées sur les principaux cours d'eau du territoire et qui relèvent des données depuis des décennies. La méthode consiste à ajuster les données de la station de mesure la plus proche du site en faisant le prorata entre le bassin versant de la station de mesure et celui du site étudié.

Le bassin versant d'un point est un espace géographique alimentant le cours d'eau en amont de ce point, et drainé par lui. Le bassin versant de la station étant spécifié dans le site web de « France-Hydro », il suffit de mesurer la superficie du bassin versant du site pour avoir un prorata et déduire son module.

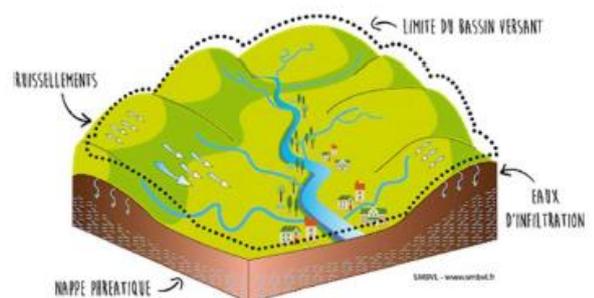


Figure 21 : Bassin versant

$$C = \left( \frac{BV \text{ site}}{BV \text{ station}} \right)^{0.8}$$

A noter qu'un coefficient régulateur (= 0.8) a été rajouté représentant les pertes d'eaux dans le bassin versant par infiltration.

Grâce à cette méthode, une courbe spécifique des débits classés peut être construite pour n'importe quel point étudié, avec les fréquences moyennes annuelles des débits.

Le débit autorisé représente le débit réel du cours d'eau soustrait au débit réservé que l'on doit laisser dans le lit de la rivière pour assurer la vie piscicole (= 0.1 x module).

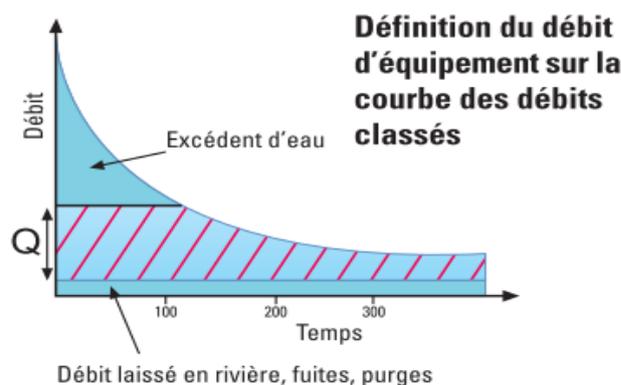


Figure 22 : Courbe des débits classés

Dans notre cas, la courbe des débits classés sera plus régulière que l'image ci-dessus car le prélèvement de l'eau par les piscicultures est quasi-constant tout au long de l'année. En effet, le débit maximal dérivable étant déjà plutôt faible, on peut considérer qu'en période d'étiage la pisciculture prélève la moitié du débit maximal.

Le productible que l'on peut espérer d'une centrale hydraulique se détermine avec la puissance installée, le taux de fonctionnement à pleine puissance et le prix de revente de l'énergie.

Une installation hydraulique classique fonctionne à pleine puissance entre 2000 et 4000 heures par an (une année représentant 8760 heures) à cause de la forte variation du débit disponible dans la rivière. Ici, la centrale pourrait fonctionner sans arrêt sur toute l'année grâce à la constance du débit circulant au sein de l'exploitation. Nous allons tout de même limiter le fonctionnement annuel de la centrale à **7000 heures**, ce qui reste une valeur très intéressante.

Enfin, pour toute installation nouvelle il existe un nouveau contrat d'achat « H16 » pour revendre l'électricité produite. Ce contrat est possible uniquement en injection totale de la production (sans autoconsommation) pour une durée de 20 ans. Le prix d'achat de l'électricité est de **136 €/MWh** avec une seule composante.

### Viabilité d'un projet de centrale hydraulique

Le coût de l'installation est très variable selon le site et la technologie choisie. Dans le cas de l'équipement des piscicultures, toute la partie génie civil est déjà existante et fonctionnelle ce qui réduit fortement le coût de l'installation.

L'essentiel de l'investissement se trouve dans l'achat et la mise en place de la turbine ainsi que de la partie électrique (génératrice, transformateur et armoire électrique), viendra s'ajouter à cela d'éventuels travaux de rénovation en génie civil (insertion de vannes et conduites).

Dans le cas du choix de la turbine hélice pour l'équipement de la pisciculture nous estimons un coût de l'installation au kW comprenant l'achat de la turbine, des composants électriques et toutes les modifications à apporter dans le génie civil. Cette solution est intéressante et adaptée aux petites puissances ayant un débit constant.

**Inv = 4000 €/kW installé**

Il faut rappeler que ce prix n'est qu'une estimation qui concerne seulement des installations de puissance entre 5 et 15 kW, puissance moyen exploitable dans les piscicultures.

A partir des estimations précédentes concernant le chiffre d'affaire et le cout de l'installation, nous pouvons évaluer la viabilité du projet, le temps de retour sur investissement ainsi que le taux de rentabilité interne (TRI).

### 3.1.3. Solution pour les sites sans hauteur de chute (Wikiwand, s.d.)

Enfin, les sites n'ayant pas de hauteur de chute en sortie de pisciculture peuvent envisager mettre en place une hydrolienne.

Le potentiel d'une hydrolienne se calcul avec la formule suivante :  $P_{cin} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a \cdot S \cdot V^3$  en W

Vient s'ajouter la limite de Betz (= +/- 60%), coefficient permettant que l'écoulement ne soit pas arrêté en aval.

On obtient une puissance récupérable de :  $P_{max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 = 295 \cdot S \cdot V^3$

Le rendement de l'hélice fait que la limite de Betz n'est pas atteinte. Il existe différents types de turbines :

- Turbine à axe horizontale (HAWT) : R = 0.48 (= 80% Cc)
- Turbine à axe verticale (VAWT) sans conversion : R = 0.42 (= 70% Cc)
- VAWT avec conversion ( $E_p$  en  $E_c$ ) : R = 0.67 → Il faut limiter à 60% Betz (= 100% Cc)

On estime qu'il faut à minima une vitesse d'écoulement de **2m/s** pour que la mise en place de l'hydrolienne soit intéressante.

### 3.1.4. Exemple : pisciculture existante avec une production hydroélectrique

Une pisciculture de la région a récemment mis en place une turbine à hélice à la sortie de son exploitation pour valoriser la chute d'eau existante entre les derniers bassins et le lit de la rivière. Cette exploitation prélève l'eau en dérivation de la rivière, avec des bassins positionnés en série entre elles (voir image ci-après). Comme évoqué précédemment, ce système est privilégié pour une production hydroélectrique par rapport à une exploitation en parallèle qui voit son débit divisé par le nombre de bassin. Dans notre cas, le débit sortant est quasi-égal au débit entrant (les pertes sur exploitation sont à prendre en compte). Le propriétaire de cette exploitation, a décidé de réutiliser cette eau déjà filtrée et d'une grande constance pour produire de l'électricité.



Figure 23 : Bassins en série

Le débit prélevé étant de 300l/s, il peut valoriser l'équivalent de 200l/s en sortie d'exploitation sur une hauteur de 6 mètres, résultant à une puissance électrique de :

$$P = Q \times h \times G \times \rho = 0,2 \times 6 \times 9.81 \times 0.8 = 9,4 \text{ kW}$$

Le débit ne variant que très peu, il a été décidé de choisir une turbine à hélice, technologie simple avec un coût raisonnable qui pourrait fonctionner approximativement 7000 heures par an. Ces valeurs permettent un productible annuel de :

$$Prod = P \times 7000 = 65800 \text{ kWh}$$

La société ayant également une activité de transformation de la truite nécessitant des groupes froids en fonctionnement toute l'année, elle consomme environ 120 000 kWh par an. En estimant l'investissement de départ à 40 000€ entre la turbine hélice de 9kW, la conduite métallique de 8 mètres de long et le système électrique (raccordement au réseau, ...), cette installation lui permettra de diviser la facture annuelle d'électricité par deux.



Figure 24 : Turbine hélice en sortie d'exploitation

En mettant de côté la partie économique, la pisciculture participe désormais à la transition écologique en s'inscrivant au plan climat 2020 de la CAPB, en décentralisant un peu plus la production électrique du territoire tout en gagnant en autonomie énergétique à l'échelle de l'exploitation.

## 3.2. Le photovoltaïque : les sites sans potentiel hydroélectrique

Les panneaux solaires photovoltaïques représentent une des technologies les plus maîtrisées pour la production d'électricité de source d'énergie renouvelable. Dans le cas où le système aquaponique fonctionne sans source d'eau ou que l'exploitation ne présente pas de potentiel hydroélectrique, la valorisation de l'énergie solaire peut être un autre moyen pour tendre vers un système énergétiquement optimisé.

### 3.2.1. Aspect technique

Au vu du potentiel solaire au niveau de la France, le Pays Basque a une irradiation solaire supérieure à la moyenne qui est de l'ordre de 1350 kWh/m<sup>2</sup>.

En parallèle de cette exposition solaire, il faut définir l'endroit propice pour installer les panneaux. Les toitures sont souvent des endroits privilégiés pour cela car l'installation sera en hauteur maximisant ainsi le temps d'ensoleillement sur la journée, sans occuper un terrain supplémentaire. Dans ce cas, il faut tout de même s'adapter à l'orientation et l'inclinaison de la toiture existante, les conditions optimales étant une surface orientée vers le sud avec une inclinaison optimale aux alentours de 30°.

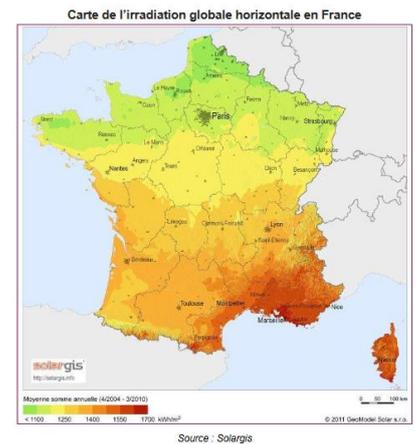


Figure 25 : Ensoleillement en France

Il faut tout de même garder en tête que notre étude est portée sur les élevages piscicoles au zone montagneuse, les exploitations se trouvant généralement au cœur de la vallée dans des endroits très ombragés. En effet, le potentiel solaire d'un site dépend beaucoup de la qualité de son horizon, qui représente les obstacles physiques existants pouvant raccourcir le temps d'ensoleillement du site. Ces obstacles peuvent être des montagnes, mais également des maisons et des arbres se trouvant à proximité de la toiture. Voici ci-dessous un masque de l'horizon au niveau du mur à gauche de Banca, nous pouvons clairement remarquer la présence des montagnes à l'EST qui viendront cacher le soleil durant tout une période de la matinée.

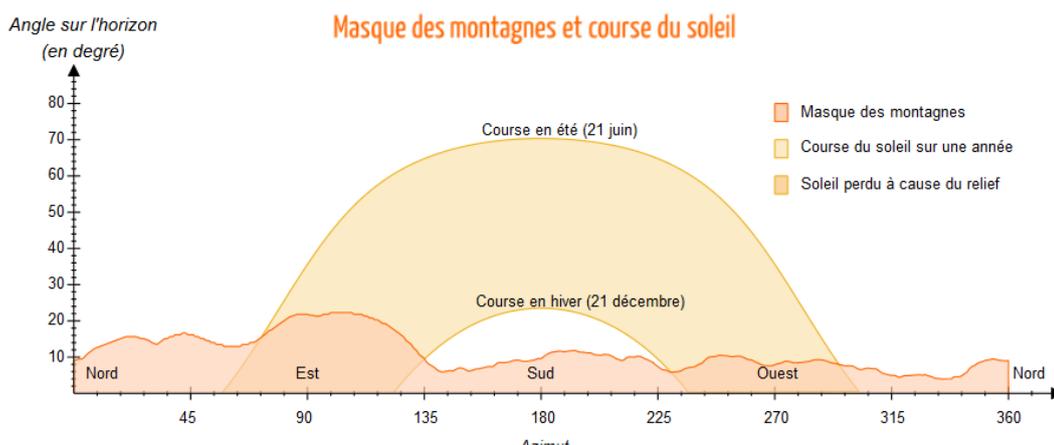


Figure 26 : Masque de l'horizon

Si le potentiel du site est justifié, il reste à définir le type de l'installation électrique souhaité : injection en totalité au réseau, autoconsommation ou revente du surplus avec ou sans stockage. Le stockage de l'électricité est actuellement un procédé très onéreux par rapport aux gains qu'il apporte. L'autoconsommation peut être intéressante si la consommation électrique de l'exploitation est en phase avec la production d'électricité c'est-à-dire en journée et surtout l'été, par la présence de groupes froids par exemple.

Dans tous les cas, il faut raccorder l'installation au réseau électrique, et le coût de ce raccordement peut fortement varier entre la puissance de l'installation (importante hausse au-dessus de 36kWc, soit 180m<sup>2</sup> de surface) et la distance jusqu'au transformateur.

Enfin, étudier la structure de la charpente et sa capacité à supporter la charge supplémentaire des panneaux n'est pas obligatoire pour les particuliers, mais elle peut tout de même rassurer. Dans la région étudiée les toitures étant majoritairement en tuile, remplacer les tuiles par un bac acier où l'on fixera les panneaux solaires va finalement alléger la charge totale.

### 3.2.2. Aspect juridique

Une installation photovoltaïque n'a globalement pas d'impact spécifique sur l'environnement, mise à part la modification du paysage. Pour cela, seuls l'Architecte Bâtiment de France et la mairie pourront s'opposer au projet, et cela uniquement si le site est à l'intérieur du périmètre d'un monument historique (moins de 500m).

L'ABF donne son avis et émet une recommandation à la mairie qui décidera si le projet pourra être réalisé.

### 3.2.3. Aspect financier

#### *Estimation du productible*

En fonction des paramètres techniques et physiques du site exposés dans la partie « aspect technique » ci-dessus, le potentiel énergétique peut fortement varier. L'ensoleillement (ou l'insolation) est relatif au gisement existant au niveau régional, à l'horizon du site mettant en évidence tous les masques solaires potentiels ainsi qu'à l'orientation et l'inclinaison de la toiture.

Connaissant l'ensoleillement régional et le potentiel minimal pour avoir une production annuelle raisonnable, l'insolation des toitures se trouve généralement entre 1000 kWh/kWc/an et 1150 kWh/kWc/an.

Nous allons donc fixer une insolation moyenne à **1075 kWh/kWc/an**.

#### *Viabilité du projet*

L'investissement à porter pour ce genre d'installation dépend grandement de la puissance installée. Si la puissance n'excède pas 36kWc, une estimation assez précise de l'investissement total pourra être faite car le type de fixation et le prix du raccordement n'auront pas une réelle influence. La seule variable sera la puissance elle-même.

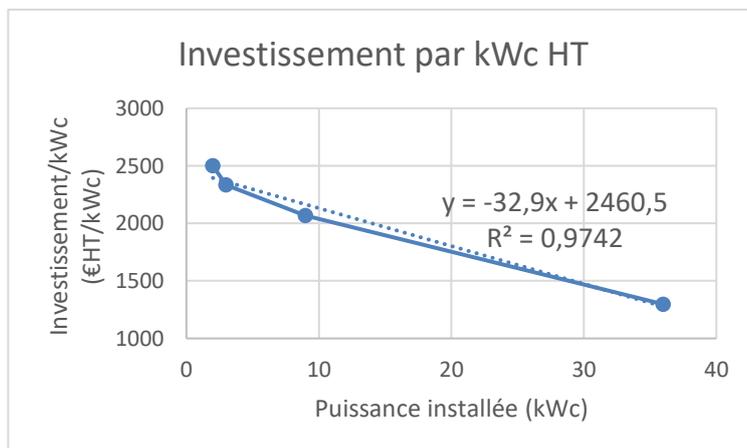


Figure 27 : Investissement par kWc photovoltaïque

Comme nous pouvons le constater sur le graphique, le prix/kWh de l'installation varie significativement en fonction de la grandeur du projet. Une simplification du calcul de l'investissement peut être faite pour les installations < 36kWc :

$$\text{Inv (€)} = 2460 - 32.9 \times P_{\text{installée}}$$

Concernant les installations > 36kWc, la variable relative à l'échelle du projet devient négligeable, donc l'investissement total peut être exprimé tel que :

$$\text{Inv (€)} = 1100 \times P_{\text{installée}}$$

Cependant, à partir de cette puissance (36kWc) le coût du raccordement au réseau réalisé par ENEDIS peut fortement varier. En effet, tous les transformateurs du territoire n'étant pas adaptés pour recevoir une telle puissance, un renforcement du transformateur pourrait être nécessaire amenant d'importants coûts supplémentaires au porteur du projet.

Dans le cas d'une injection en totalité de la production électrique la revente est subventionnée par l'état dans le cadre d'une obligation d'achat sur 20 ans, ainsi la viabilité du projet peut être calculée facilement. Voici les prix actuels :

Puissance de votre installation solaire	Tarif en vente totale (€/kWh)
≤ 3 kWc	0,1797
≤ 9 kWc	0,1527
≤ 36 kWc	0,1135
≤ 100 kWc	0,0987

Tableau 1 : Tarif de revente - injection en totalité

Pour de l'autoconsommation, la viabilité économique doit être calculée en connaissant les consommations de la société en temps réel, ou à minima les consommations saisonnières. Il est nécessaire d'avoir un taux d'autoconsommation le plus élevé possible pour que le projet soit viable, quitte à sous-dimensionner l'installation. Les périodes de production maximales étant de jours et durant l'été, il faut avoir des consommations en phase qui consomme durant ces périodes. Le surplus d'électricité sera injecté au réseau, voici le prix du kWh vendu dans le cas de l'autoconsommation (12/2020) :

Puissance de votre installation solaire	Tarif du surplus (€/kWh) du 25/10 au 31/12
≤ 3 kWc	0,10 €
≤ 9 kWc	0,10 €
≤ 36 kWc	0,06 €
≤ 100 kWc	0,06 €

Tableau 2 : Tarif de revente - autoconsommation

Par ailleurs, nous savons qu'une installation dans les conditions optimales fonctionnera à 90% de sa puissance maximale, donc si la consommation minimale de l'exploitation dépasse ce seuil la totalité de la production électrique pourra être autoconsommée.

## 4 Etude de cas : future ferme de la région

### 4.1. Descriptif du projet

La future ferme imaginée serait un projet de diversification d'activité sur un modèle d'agriculture paysanne, à taille humaine qui commercialise en circuit court. L'objectif est d'avoir plusieurs ateliers de production et de développer le plus d'autonomie possible à l'échelle de la ferme (intrants, énergie, matières premières...).



Figure 28 : Vue satellite de la ferme

Située sur le flanc d'une montagne, la ferme est alimentée en eau exclusivement par une source naturelle ce qui donne la possibilité de développer une autre activité : l'aquaponie. Dans ce cadre, l'aquaponie serait une activité complémentaire de la production de fruits (arboriculture et petits fruits) et de maraichage. Même en petite quantité les poissons seraient valorisés dans une démarche qualité et une commercialisation en circuit court. L'espèce reste à être défini mais les carpes semblent être adéquat après un travail de redéveloppement de l'usage de ce poisson au niveau local.

Le projet de l'aquaponie a été pensé dans le bâtiment de droite. Cette activité demandant un apport lumineux pour le développement des végétaux par la photosynthèse, la toiture devra être remplacée par un matériau transparent sur une surface qui dépendra du dimensionnement du projet, les bassins d'élevage n'ayant pas besoin de cette lumière-là.

Un autre objectif serait de développer les végétaux les plus déficitaires dans le territoire grâce à l'aquaponie, tels que :

- Salades
- Aromatiques
- Fraises
- Cornichons
- Piments
- Ciboulette/oignon ciboule



Figure 29 : Habitation de la ferme

Ce projet n'est pas de la même échelle que les piscicultures évoquées dans l'étude, nous allons tout de même essayer d'identifier les différentes pistes pour une gestion énergétique optimisée dans la future ferme. En laissant de côté l'énergie de la biomasse l'énergie et du vent (administrativement compliqué sur toute la région d'Aquitaine), le potentiel solaire et hydroélectrique seront étudiés pour ce cas précis.

## 4.2. Potentiel hydroélectrique

Concernant l'hydroélectricité, l'eau est prélevée depuis une source et stockée ensuite dans un réservoir. Un conduit transporte l'eau jusqu'à l'habitation située 20m plus bas afin d'avoir une pression suffisante pour son utilisation.



Figure 30 : Schéma du réseau d'eau potable

La source d'eau étant utilisée pour l'eau potable de la maison, la pico-centrale ne doit pas entraver cette fonction principale de l'eau. Pour cela, nous privilégierons la mise en place la turbine en amont du réservoir pour valoriser la hauteur entre la source et le stockage de l'eau sans que cela n'impacte la pression de l'eau potable à l'arrivée dans l'habitation. Ici, il y a seulement 3 mètres entre la source et le réservoir ce qui limite fortement le potentiel hydroélectrique.

$$P = Q \times h \times G \times \rho$$



Figure 31 : Source et réservoir de l'eau potable

Les relevés périodiques durant une année entière ont montré un débit de la source variant entre 0.15l/s et 0.3l/s, pour une moyenne à 0.2l/s. Un débit donc très faible sur une petite hauteur en se limitant au tronçon source-réservoir.

Nous avons un débit  $Q=0.2l/s$  ; une hauteur  $h=3m$  ; un rendement moyen de la turbine  $\rho=0.8$  ;  $G=9.81 m/s^2$ , pour une puissance électrique totale :

$$P = Q \times h \times G \times \rho = 0.2 \times 3 \times 9.81 \times 0.8 = 4.71W$$

Enfin, avec un temps de fonctionnement annuel de 7000h nous estimons le productible annuel à :

$$P = 4.71 \times 7000 = 32,9 kWh/an$$

Le potentiel hydroélectrique en ce lieu est visiblement très faible, sachant qu'il faudra également prendre en compte les pertes linéaires du conduit sur environ 10 mètres. En considérant qu'un foyer français moyen a une consommation électrique de 3500 kWh/an, le productible de cette installation serait dérisoire par rapport à la consommation de la ferme, forcément supérieur à la consommation d'un foyer.

En conclusion, cette configuration du réseau d'eau potable n'est pas adaptée pour une production hydroélectrique.

### 4.3. Potentiel photovoltaïque

Comme évoqué précédemment, le photovoltaïque peut être une solution intéressante pour les sites n'ayant pas un réel potentiel hydroélectrique, ce qui est notre cas.



Figure 32 : Vue de la ferme - Cadastre solaire

Voici une image satellite provenant du cadastre solaire réalisé par la Communauté d'Agglomération Pays Basque. Le code couleur permet d'avoir une première idée du potentiel existant sur la toiture, et le logiciel nous indique explicitement que la bergerie et l'habitation ne présentent pas de potentiel. Effectivement, nous pouvons voir un espace boisé au sud des bâtiments de gauche qui vont fortement nuire à une production photovoltaïque. Nous étudierons donc le potentiel photovoltaïque du bâtiment de l'aquaponie située au milieu d'un champs, à l'écart des autres bâtiments.

Après avoir effectué des mesures sur site ainsi que des relevés sur Géoportail, voici les données concernant la toiture de la porcherie :

- Orientation (sens horaire - 180° étant le sud) = 152°
- Inclinaison = 20°
- Surface de la toiture pan SUD = 121 m<sup>2</sup>



Figure 33 : Surface de toiture - bâtiment aquaponie

Ces données, avec la qualité de l'horizon du site mesuré sur Heliorama, permettent d'avoir une idée assez précise du potentiel que nous pourrions espérer. Dans notre cas, l'ensoleillement est estimé à **1055kWh/kWc/an**.

Un panneau photovoltaïque ayant une surface de 1.7m<sup>2</sup> pour une puissance aux alentours de 300Wc, il faut donc compter 6m<sup>2</sup> pour atteindre une puissance de 1kWc. La toiture pourrait donc accueillir une installation de 20kWc. Cependant, la question énergétique vient en complément du projet de l'aquaponie, il doit être cohérent avec la conception de celui-ci. Un pré-dimensionnement du projet a été réalisé par un prestataire qui a également proposé un premier plan du projet.

Comme nous le montre le schéma simplifié ci-après, sur 220m<sup>2</sup> de surface intérieure, 30m<sup>2</sup> d'élevage de capre suffiront pour une production végétale totale de 150 m<sup>2</sup>. Les végétaux ayant besoin d'un apport lumineux important pour leur bon développement, toute la toiture en bac acier devra être remplacée par un matériau transparent. Les murs du bâtiment étant en parpaing, la lumière n'entrera que par la toiture, le pan sud de la toiture aura donc une fonction importante dans apport lumineux.



Figure 34 : Schéma simplifié du projet

Les panneaux photovoltaïques utilisant également le rayonnement solaire pour produire de l'électricité, il faut trouver un compromis pour que les deux activités puissent cohabiter. L'utilisation de **verrières photovoltaïques** (Talev, s.d.) est une solution envisageable car elle permet le passage partiel des rayons solaires ; c'est la technologie utilisée dans les serres dites photovoltaïques. La puissance unitaire de chaque panneau est naturellement moindre, nous pourrions tout de même imaginer une toiture totalement transparente au nord avec le pan sud constitué uniquement de verrières photovoltaïques pour optimiser la luminosité à l'intérieur du bâtiment.



Figure 35 : Verrière photovoltaïque

Sur une surface de 120m<sup>2</sup> recouverte totalement de verrières photovoltaïques OPTISOL d'une puissance surfacique de 100Wc/m<sup>2</sup>, nous pourrions atteindre une puissance totale de 12kWc. Avec l'ensoleillement du site, **12 700kWh** pourraient être produite chaque année.

Concernant les consommations du système aquaponique, seule la pompe à eau est à prendre en considération. La pompe doit être capable de renouveler l'eau une fois par heure pour assurer une bonne qualité de l'eau. Notre bac faisant 30m<sup>2</sup> de surface sur une hauteur de 0.5m, il faut choisir une pompe à eau capable de déplacer 15m<sup>3</sup>/h sur une hauteur manométrique totale de 2 mètres. Nous allons choisir une pompe de bassin CTP 16000 de 140 Watt, adaptée pour un débit de 16m<sup>3</sup>/s et une HMT de 7 mètres. En admettant que la pompe fonctionne sans arrêt pour la circulation de l'eau, elle consommera l'équivalent de **1200 kWh/an** (Truites aquaponiques, s.d.).

En parallèle, un groupe froid sera en fonctionnement pour la conservation des fruits frais jusqu'à leur vente ou leur transformation en jus. Pour cela, la chambre froide positive -5°C/+10°C FEMB1006M de 1200W a été choisie, adaptée pour une chambre de 7m<sup>3</sup>. Le groupe froid fonctionnant en moyenne 18h/jour (principalement en journée), nous estimons sa consommation annuelle à **7900 kWh/an**.

Le groupe froid est un réel atout pour l'autoconsommation car sa puissance de fonctionnement est totalement en phase avec la production photovoltaïque. En considérant que le groupe froid fonctionne exclusivement en journée pendant les heures de production photovoltaïque et que la moitié de la consommation de la pompe sera également pendant cette période, nous allons estimer que **8500kWh** sont consommés chaque année en journée.

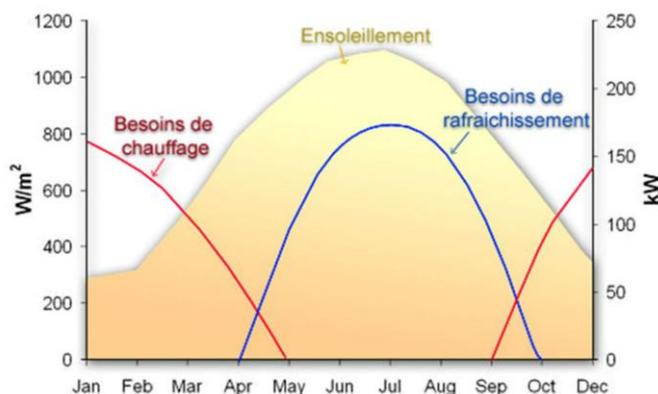


Figure 36 : Courbes des consommations avec production PV

12kWc produisant 12 700kWh/an, nous pourrions réduire cette puissance pour gagner en luminosité dans le bâtiment tout en optimisant le taux d'autoconsommation de l'installation. De plus, les installations <9kWc bénéficient d'un prix de revente du surplus à 10c€/kWh, alors qu'au-dessus de cette puissance elle descend à 6c€/kWc (Tableau 2 : Tarif de revente - autoconsommation).

Nous allons donc réduire la puissance de l'installation jusqu'à 9kWc pour bénéficier pleinement de ce prix de rachat subventionné pour une production de **9 495 kWh/an**. Le taux d'autoconsommation très élevé d'environ 80% permettra d'utiliser directement en interne 8000kWh/an, réduisant la facture énergétique sachant que le prix actuel de l'électricité est de 0.1557€/kWh. Le reste sera vendu au fournisseur de notre choix par le réseau, à 0.10€/kWh.



Figure 37 : Verrières photovoltaïques

$$CA = 8000 \times 0.1557 + 1495 \times 0.1 = 1245.6 + 149.5 = \mathbf{1395.1\text{€}}$$

Nous estimons l'investissement initial subventions comprises à **20 000€HT**, pour un retour sur investissement à 15 ans. Il faut également prendre en compte que le prix de l'électricité augmentera au fur et à mesure, réduisant ainsi le temps de retour sur investissement.

## 5 Conclusion

L'aquaponie regroupe une unité d'aquaculture avec une production de plantes hors sol, permettant d'utiliser les déchets d'une exploitation pour le développement d'un autre. Ce système vertueux charme déjà le monde de l'agriculture et suscite l'intérêt de beaucoup d'exploitants cherchant une certaine autonomie au sein de leur ferme. Il se trouve que ce système peut encore être optimisé en maîtrisant la partie énergétique du système.

Cette partie peut difficilement être intégrée dans une offre clé en main comprenant le système aquaponique et l'unité de production d'électricité. Toutes les exploitations sont différentes avec un fonctionnement propre à l'exploitation, il faut donc étudier le potentiel énergétique des sites au cas par cas. Cette étude résume les possibilités envisageables pour une production photovoltaïque et hydroélectrique adaptées aux piscicultures en zone montagneuse, ainsi que les principaux critères à prendre en compte pour l'évaluation du potentiel. L'hydroélectricité est la filière à privilégier du fait de sa constance et de son abondance dans ce genre d'élevage, mais nous avons également vu que le photovoltaïque peut être une autre solution pertinente si le potentiel hydroélectrique est insuffisant.

Enfin, l'association de l'aquaponie avec la production d'énergies renouvelables peut être un point stratégique pour l'agritourisme, l'image « qualité » de la ferme et la communication ; des aspects non négligeables. Un projet de ce type serait également une vitrine pour cette association encore très peu développée dans le territoire.

## Annexes

### Table des illustrations

Figure 1 : Pyrénées Atlantiques .....	2
Figure 2 : Exploitation en parallèle .....	3
Figure 3 : Exploitation en série .....	3
Figure 4 : Hydroponie .....	3
Figure 5 : Fonctionnement général aquaponie .....	4
Figure 6 : Adaptabilité des turbines aux débits variables .....	5
Figure 7 : Turbine Pelton .....	6
Figure 8 : Turbine Francis .....	7
Figure 9 : Fonctionnement turbine Francis .....	7
Figure 10 : Turbine kaplan .....	8
Figure 11 : Fonctionnement turbine Kaplan.....	8
Figure 12 : Turbine hélice .....	9
Figure 13 : Turbine Banki-Mitchell .....	10
Figure 14 : Banki-Mitchell 2 compartiments .....	10
Figure 15 : Roue à aubes .....	11
Figure 16 : Vis hydrodynamique .....	12
Figure 17 : Vis hydrodynamique détaillée .....	12
Figure 18 : Turbine VLH .....	13
Figure 19 : Système complet VLH .....	13
Figure 20 : Système vortex turbulent .....	14
Figure 21 : Bassin versant .....	16
Figure 22 : Courbe des débits classés .....	17
Figure 23 : Bassins en série – Pisciculture « Truite de Banka » .....	18
Figure 24 : Turbine hélice en sortie d'exploitation.....	19
Figure 25 : Pisciculture "Truite de Banka" .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 26 : Ensoleillement en France .....	20
Figure 27 : Masque de l'horizon .....	20
Figure 28 : Investissement par kWc photovoltaïque.....	21
Figure 29 : Vue satellite de la ferme à Irouléguy.....	23
Figure 30 : Habitation de la ferme.....	23
Figure 31 : Schéma du réseau d'eau potable .....	24
Figure 32 : Source et réservoir de l'eau potable .....	24
Figure 33 : Vue de la ferme - Cadastre solaire.....	25
Figure 34 : Surface de toiture - bâtiment aquaponie .....	25
Figure 35 : Schéma simplifié du projet.....	26
Figure 36 : Verrière photovoltaïque .....	26
Figure 37 : Courbes des consommations avec production PV .....	27
Tableau 1 : Synthèse des technologies.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 2 : Tarif de revente - injection en totalité.....	22
Tableau 3 : Tarif de revente - autoconsommation.....	22

## Références

- (s.d.). Récupéré sur Energie douce: <https://www.energiesdouce.com/content/21-conseils-faq-hydro-turbines-et-turbines-hydroelectriques>
- (s.d.). Récupéré sur Wikipedia: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine\\_Kaplan](https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_Kaplan)
- (s.d.). Récupéré sur Enseeiht: <http://hmf.enseeih.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2378>
- (s.d.). Récupéré sur Gratia-hydro: [https://www.gratia-hydro.com/fr/23\\_rendement-roue-a-aubes-moderne.html](https://www.gratia-hydro.com/fr/23_rendement-roue-a-aubes-moderne.html)
- (s.d.). Récupéré sur Formatis: <http://blog.formatis.pro/turbines-vlh>
- (s.d.). Récupéré sur Turbulent: <https://www.turbulent.be/homepage>
- (s.d.). Récupéré sur Turbiwatt: <https://www.turbiwatt.com/>
- (s.d.). Récupéré sur Wikiwand: <https://www.wikiwand.com/fr/Hydrolienne>
- (s.d.). Récupéré sur Truites aquaponiques: <https://www.truitesaquaponiques.com/2019/02/11/pompe-eau-aquaponie-choisir/>
- (s.d.). Récupéré sur Talev: <http://talev.fr/photovoltaique/integration-verriere/OPTISOL.pdf>