

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° d'ordre : M...../GE/2024



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES  
DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Electrotechnique industrielle

Intitulé du sujet

Dimensionnement d'une turbine hydroélectrique en vue de récupérer de l'énergie par  
Turbinage d'évacuation des eaux rejetés par la station d'épuration (STEP) de la Salamandre

Présenté par :

- CHACHOU Mohamed El Amine
- BELMEKKI Anes

Soutenu le 29 / 09 / 2024 devant jury composé de :

|                |                    |            |                          |
|----------------|--------------------|------------|--------------------------|
| Président :    | Mr. BESTALI W.     | Professeur | Université de Mostaganem |
| Examinatrice : | Mme. GHOMRI L.     | MCA        | Université de Mostaganem |
| Encadreur :    | Mr. Bentounes H.A. | Professeur | Université de Mostaganem |

Année Universitaire 2023/2024

## *Remerciements*

*On tient à exprimer toute notre reconnaissance à notre directeur de mémoire, Monsieur BENTIOUNES. On le remercie de nous avoir encadrés, orienté, aidé et conseillé.*

*On adresse nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.*

*À tous ces intervenants, on présente nos remerciements, notre respect et notre gratitude.*

## **Dédicaces**

*Je dédicace mon père, ma mère, mes frères, et toute la famille*

*Je dédicace mon ami et binôme CHACHOU Mohamed El Amine*

*Je dédicace tous les ingénieurs qui m'ont aidé pendant mon mes deux précédents stages à Ain-Amenas et Hassi R'mel*

*Et je ne peux pas terminer ma dédicace sans rendre hommage à mon encadreur  
BENTOUNES Hadj Adda*

### **BELMEKKI ANES**

*Je dédie ce travail, à ma mère, mon père, mon frère, ma sœur,*

*A ma grande famille que ce soit du côté maternel ou du côté paternel,*

*A tous mes amis,*

*A tous mes camarades de classe, promotion 2024,*

*A mon ami et mon binôme BELMEKKI Anes,*

*A notre encadreur BENTOUNES Hadj Adda,*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire.*

### **CHACHOU MOHAMED EL AMINE**

## **Résumé :**

Ce mémoire explore le processus de turbinage des eaux usées au sein de la station d'épuration de la Salamandre. Cette station rejette chaque jour un volume d'eaux traitées conséquent en mer, alors que ces eaux-là peuvent représenter une énergie exploitable non négligeable à travers leur turbinage.

Le turbinage des eaux d'une station d'épuration pour la production hydroélectrique consiste à utiliser l'énergie cinétique des eaux usées pour générer de l'électricité. Cela implique le dimensionnement d'une turbine adaptée au site d'étude tout en précisant ses caractéristiques.

Économiquement, ce processus peut réduire les coûts d'énergie de la station d'épuration, tout en offrant une source de revenus potentielle grâce à la vente d'électricité.

Dans le premier chapitre, nous abordons une présentation et une description générale de la station d'épuration de la Salamandre.

Le deuxième chapitre comporte une étude approfondie sur la turbine hydroélectrique, de son fonctionnement, de ses différents types, et de son utilisation dans le contexte du turbinage des eaux usées.

Le troisième et dernier chapitre concerne le dimensionnement d'une turbine adaptée à notre site et comporte une étude technico-économique la concernant.

## **Mots clé :**

STEP (Station d'épuration), Turbine hydraulique, hydraulique, hydro-électricité, Eau usées, Électricité, Turbinage, Production d'électricité, Dimensionnement.

**Summary:**

This thesis explores the wastewater turbinning process at Salamandre wastewater treatment plant. Every day, this plant discharges a significant volume of treated water into the sea, although this water can represent a significant source of exploitable energy through its turbinning.

Turbinning water from a wastewater treatment plant for hydroelectric production involves using the kinetic energy of the wastewater to generate electricity. This involves sizing a turbine adapted to the study site and specifying its characteristics.

Economically, this process can reduce the wastewater treatment plant's energy costs, while offering a potential source of revenue through the sale of electricity.

In the first chapter, we present a general overview and description of the Salamandre wastewater treatment plant.

The second chapter includes an in-depth study of the hydroelectric turbine, its operation, its different types, and its use in the context of wastewater turbinning.

The third and final chapter deals with the sizing of a turbine adapted to our site, and includes a technico-economic study.

**Keywords:**

WWTP (The WasteWater treatment plant), Hydraulic turbine, hydraulics, hydro-electricity, Wastewater, Electricity, Turbine, Power generation, Sizing.

## ملخص:

تستكشف هذه الأطروحة عملية معالجة مياه الصرف الصحي في محطة صلامندر لمعالجة مياه الصرف الصحي. تقوم هذه المحطة كل يوم بتصريف كمية كبيرة من المياه المعالجة في البحر. يمكن استخدام هذه المياه لتوليد كميات كبيرة من الطاقة من خلال التوربينات.

ينطوي توربين المياه من محطة معالجة مياه الصرف الصحي لإنتاج الطاقة الكهرومائية على استخدام الطاقة الحركية لمياه الصرف الصحي لتوليد الكهرباء. ويتضمن ذلك تحديد حجم التوربينات الملائمة لموقع الدراسة وتحديد خصائصها.

من الناحية الاقتصادية، يمكن أن تقلل هذه العملية من تكاليف الطاقة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي، مع توفير مصدر دخل محتمل من خلال بيع الكهرباء.

يقدم الفصل الأول عرضًا عامًا ووصفًا لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي في صلامندر.

ويتضمن الفصل الثاني دراسة متعمقة للتوربينات الكهرومائية، وكيفية عملها، وأنواعها المختلفة، واستخدامها في سياق توربينات مياه الصرف الصحي.

يتناول الفصل الثالث والأخير تحجيم التوربينات المكيفة لموقعنا، ويتضمن دراسة فنية واقتصادية.

## كلمات مفتاحية:

STEP (محطة معالجة مياه الصرف الصحي)، توربين هيدروليكي، هيدروليك، طاقة مائية، مياه مستعملة، كهرباء، تشغيل التوربين، إنتاج الكهرباء، تصميم.

## Sommaire :

|   |    |
|---|----|
| <b>I. Chapitre 1 : Présentation et description générale de la STEP</b> .....            | 4  |
| <b>I.1 Introduction</b> : .....   | 4  |
| <b>I.2 Généralités sur l'épuration des eaux usées</b> : .....                           | 4  |
| I.2.1 Définition des eaux usées : .....   | 4  |
| I.2.2 Définition d'une station d'épuration : .....                                      | 4  |
| <b>I.3 L'épuration des eaux à Mostaganem</b> : .....                                    | 5  |
| I.3.1 Présentation de la Wilaya de Mostaganem : .....                                   | 5  |
| I.3.2 Les systèmes d'épuration à Mostaganem : .....                                     | 5  |
| <b>I.4 Présentation de la STEP de la Salamandre Mostaganem</b> : .....                  | 6  |
| I.4.1 Le principe de fonctionnement de la STEP : .....                                  | 7  |
| <b>I.5 Conclusion</b> : .....   | 9  |
| <b>II. Chapitre 2 : La turbine hydroélectrique</b> .....                                | 11 |
| <b>II.1 Introduction</b> : .....  | 11 |
| <b>II.2 L'hydroélectricité</b> : .....  | 11 |
| II.2.1 Définition de l'hydroélectricité .....   | 11 |
| II.2.2 Importance de l'hydroélectricité dans la production d'énergie renouvelable ..... | 11 |
| <b>II.3 Notions sur les Centrales hydro-électriques</b> : .....                         | 12 |
| II.3.1 Définition et principe de fonctionnement d'une centrale hydro-électrique : ..... | 12 |
| II.3.2 Classification des centrales hydroélectriques : .....                            | 13 |
| II.3.3 Catégories de centrales hydroélectriques : .....                                 | 14 |
| <b>II.4 Les principes de base des turbines hydroélectriques</b> .....                   | 14 |
| II.4.1 Explication du fonctionnement général d'une turbine hydroélectrique : .....      | 14 |
| II.4.2 Les catégories de turbines hydroélectriques : .....                              | 15 |
| II.4.3 Les composants principaux d'une turbine hydroélectrique : .....                  | 17 |
| II.4.4 Les principaux types de turbines hydroélectriques : .....                        | 20 |
| <b>II.5 Turbinage des eaux usées</b> .....  | 23 |
| II.5.1 Introduction sur le sujet : .....  | 23 |
| II.5.2 Etat de l'art : .....  | 23 |
| II.5.3 Exemple d'un cas existant : .....  | 24 |
| <b>II.6 Conclusion</b> : .....  | 25 |
| <b>III. Chapitre 3 : Dimensionnement de la turbine</b> .....                            | 27 |
| <b>III.1 Introduction</b> : .....   | 27 |
| <b>III.2 Objectif de l'étude de potentiel</b> : .....                                   | 27 |
| III.2.1 Etude du potentiel de turbinage des eaux usées de Mostaganem : .....            | 27 |
| III.2.2 Méthode utilisée pour réaliser une mini central hydroélectrique : .....         | 27 |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>III.3</b> | <b>Evaluation globale du potentiel énergétique :</b>                                  | <b>28</b> |
| III.3.1      | Données disponibles :   | 28        |
| III.3.2      | Informations sur la station d'épurations :  | 28        |
| III.3.3      | Informations sur les cours d'eau.....   | 28        |
| III.3.4      | Hypothèses préliminaires.....   | 28        |
| <b>III.4</b> | <b>Etude de site proposé de la STEP :</b>   | <b>29</b> |
| III.4.1      | La topographie :  | 29        |
| III.4.2      | Potentiel énergétique :   | 29        |
| III.4.3      | Données importants (Q ; H ; $\eta$ ).....   | 29        |
| III.4.4      | Les caractéristiques de site :  | 29        |
| III.4.5      | Les installations de site proposés et développés :                                    | 30        |
| <b>III.5</b> | <b>Rentabilité de site :</b>  | <b>30</b> |
| III.5.1      | Rentabilité énergétique :   | 30        |
| III.5.2      | L'électricité produite de l'installation de site :                                    | 30        |
| III.5.3      | Calcule des pertes de charge de l'installation :                                      | 31        |
| III.5.3.1    | Les pertes de charge singulière.....  | 31        |
| III.5.3.2    | Calcule du diamètre de la conduite :  | 31        |
| III.5.3.3    | Calcul de vitesse d'écoulement :  | 32        |
| III.5.3.4    | Calcul du coefficient de perte de charge singulière (coude) :                         | 32        |
| III.5.3.5    | Les pertes de charge linéaire :   | 33        |
| III.5.3.6    | Calcul de la longueur de conduite :   | 34        |
| III.5.3.7    | La chute nette :  | 34        |
| III.5.4      | Puissance hydraulique :   | 35        |
| III.5.5      | Critère de choix de la turbine de l'installation :                                    | 35        |
| III.5.6      | La puissance mécanique :  | 37        |
| III.5.7      | Calcule de puissance électrique :   | 38        |
| III.5.8      | Calcule d'Energie annuelle :  | 38        |
| <b>III.6</b> | <b>Étude Technico-Économique de la Centrale Hydroélectrique de la STEP Mostaganem</b> | <b>39</b> |
| III.6.1      | Contexte et Objectifs :   | 39        |
| III.6.2      | Caractéristiques Techniques :   | 39        |
| III.6.3      | Étude de la Ressource :   | 39        |
| III.6.4      | Coûts d'Investissement :  | 39        |
| III.6.5      | Coûts d'Exploitation et de Maintenance :  | 39        |
| III.6.6      | Analyse Économique :  | 39        |
| III.6.7      | Conclusion :  | 40        |



## Liste des figures :

|   |    |
|---|----|
| <b>Chapitre I :</b>   |    |
| Figure I-1 : Vue aérienne d'une station d'épuration   | 5  |
| Figure I-2 : Les STEPs de la wilaya de Mostaganem   | 6  |
| Figure I-3 : Maquette de la STEP de la Salamandre   | 7  |
| Figure I-4 : Les étapes de l'opération d'épuration des eaux usées   | 8  |
| Figure I-5 : Rejet de l'eau dépollué en mer   | 8  |
| <br>  |    |
| <b>Chapitre II :</b>  |    |
| Figure II-1 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique                                   | 13 |
| Figure II-2 : Photo réelle turbine à action (Pelton)  | 15 |
| Figure II-3 : Image schématique d'une turbine à réaction  | 16 |
| Figure II-4 : La conduite forcée  | 17 |
| Figure II-5 : La bêche spirale  | 17 |
| Figure II-6 : L'avant distributeur  | 18 |
| Figure II-7 : Le distributeur et les directrices  | 18 |
| Figure II-8 : La roue   | 19 |
| Figure II-9 : L'aspirateur  | 19 |
| Figure II-10 : L'arbre de transmission  | 19 |
| Figure II-11 : L'alternateur  | 20 |
| Figure II-12 : Turbine Pelton   | 21 |
| Figure II-13 : Turbine Francis  | 21 |
| Figure II-14 : Turbine Kaplan   | 22 |
| Figure II-15 : Turbine Crossflow  | 22 |
| Figure II-16 : Possibilités d'installation du turbinage des eaux usées                                    | 23 |
| Figure II-17 : Turbine de la STEP de l'AÏRE à Genève en Suisse  | 24 |
| <br>  |    |
| <b>Chapitre III :</b>   |    |
| Figure III-1 : Rayon de courbure d'un coude   | 32 |
| Figure III-2 : Détermination de la longueur L en fonction trigonométrie                                   | 33 |
| Figure III-3 : Domaine d'utilisation des différents types de turbines (chutes nettes, débits, puissances) | 35 |
| Figure III-4 : Image schématique de notre potentiel installation  | 36 |

|   |    |
|---|----|
| Figure III-5 : Forme des courbes de rendement de différentes turbines hydrauliques en fonction des débits variables | 36 |
| Figure III-6 : Bilan des puissances   | 38 |

**Liste des Tableaux :**

|   |    |
|---|----|
| <b>Chapitre I :</b>   |    |
| Tableau I-1 : Caractéristiques de la STEP                   | 7  |
| <b>Chapitre II :</b>  |    |
| Tableau II-1 : Classification des centrales hydroélectrique | 13 |
| <b>Chapitre III :</b>                                       |    |
| Tableau III-1 : Coefficient de perte de charge d'un coude   | 32 |
| Tableau III.2 : Rendements des générateurs a charge totale  | 37 |

### Liste des acronymes :

STEP : Station d'épuration des eaux usées

T : Turbine hydraulique

G : Génératrice

Eprod : L'électricité produite (KWh/année)

$\rho$  : La masse volumique (Kg/m<sup>3</sup>)

$\eta$  : Le rendement global de l'installation

g : accélération due à la pesanteur (m/s<sup>2</sup>)

H<sub>nette</sub> : La chute nette (avec les pertes)

V<sub>eaux-usées</sub> : volume d'eaux usées traitées annuellement

HLs : Les pertes de charge singulière

v : vitesse de l'écoulement

Q : Débit de l'eau

d : Diamètre de conduites

S : la section de la conduite circulaire pleine

Q<sub>max</sub> : Débit max

V<sub>norme</sub> : La vitesse maximale d'un liquide

R : Le rayon de courbure

$\theta$  : L'angle de coude

$\xi$  : coefficient de pertes de charge, sans unité, dépend du type de singularité et de sa géométrie

HLl : Les pertes de charge linéaire

L : Longueur de conduite après le coude

K : coefficient de rugosité (m<sup>1/3</sup>/s)

Rh : Le rayon hydraulique

Hb : La chute brute (la chute nette sans des pertes)

$\Sigma$  HL : La somme des pertes de chute

Phyd : La puissance hydraulique (KW)

Pméc : La puissance mécanique (KW)

Pélec : La puissance électrique (KW)

Qt : débit turbiné (m<sup>3</sup>/s)

$\eta_t$  : Rendement de turbine

$\eta_g$  :Rendement de génératrice

t :La durée

$E_{totale}$  : L'Energie annuelle

## **INTRODUCTION GENERALE :**

Ces dernières années, la demande mondiale en énergie a atteint un seuil préoccupant pour un grand nombre de pays. L'épuisement annoncé des réserves pétrolières par les spécialistes et les changements climatiques dus aux gaz à effet de serre ont incité la communauté internationale à s'orienter vers les énergies renouvelables.

L'économie algérienne reste fortement dépendante des hydrocarbures. La crise multidimensionnelle que traverse le Monde n'épargne pas l'Algérie. Il est difficile d'avoir des certitudes sur le court terme et les voies de sortie de crise que pourraient prendre certains pays. Il est évident qu'il n'y a pas de modèle universel de sortie de crise.

L'Algérie comme tout autre pays a tracé sa feuille de route pour l'usage et la promotion des énergies renouvelables. Motivé par son engagement envers la communauté internationale pour la lutte contre le réchauffement climatique et sa possession de l'un des plus grands gisements solaires au monde, l'état algérien se lance par un programme qui consacre au solaire thermique et au solaire photovoltaïque une part essentielle. Le solaire devrait atteindre d'ici 2030 plus de 37% de la production nationale d'électricité.

Concernant les autres énergies renouvelables, il existe aussi l'énergie hydraulique qui peut jouer un rôle important dans le mix énergétique du pays, mais il a été annoncé en 2014 que les centrales hydroélectriques qui fournissaient l'électricité primaire allaient à priori être mises à l'arrêt et les retenues d'eau correspondantes, gérées jusqu'ici par Sonelgaz, vont être transférées à l'Agence Nationale des Barrages (ANB).

Le potentiel hydraulique du pays est encore sous-exploité, et des efforts sont en cours pour développer davantage cette source d'énergie. Et l'une des solutions plausibles qui peuvent enrichir à ce développement sur le système du turbinage par des eaux usées issues des stations d'épuration STEP.

L'Algérie compte 171 stations d'épuration des eaux usées d'une capacité de 900 millions de mètres cube par an, dont 8 stations de type boue activée.

Ce qui démontre que le turbinage des eaux usées représente une énergie exploitable et qui peut changer et influencer sur le développement des énergies renouvelables en Algérie.

Dans cette mémoire, notre stratégie est de faire savoir comment exploiter les eaux usées rejetés par la STEP de la Salamandre à Mostaganem afin de développer par notre étude une centrale hydraulique.

Notre travail est constitué de trois parties. La première partie est consacrée à la présentation de la STEP de la Salamandre. Dans la seconde partie, nous réaliserons une étude approfondie sur la turbine hydroélectrique et on évoquera le turbinage des eaux usées. En ce qui concerne la troisième partie, on déterminera la turbine la mieux adaptée à notre site d'étude tout en citant ses caractéristiques.

## ***CHAPITRE I :***

### ***Présentation et description générale de la STEP***

## **I. Chapitre 1 : Présentation et description générale de la STEP**

### **I.1 Introduction :**

Les eaux usées constituent un enjeu majeur dans la gestion des ressources environnementales actuelles. Le traitement de ces eaux qui est assuré par les stations d'épuration, est crucial pour protéger les écosystèmes aquatiques et la santé publique.

Ce premier chapitre examine les principes de fonctionnement des systèmes de traitement des eaux usées, et du fonctionnement d'une station d'épuration en général. Puis, en deuxième temps, on explorera la situation de traitement de la ville de Mostaganem avec une étude de la STEP de la Salamandre.

### **I.2 Généralités sur l'épuration des eaux usées :**

#### **I.2.1 Définition des eaux usées :**

Une eau usée est une eau chargée de substances minérales ou biologiques issues de l'activité humaine provoquant sous une concentration anormale. Les eaux usées regroupent les eaux résiduaires domestiques (les eaux vannes et les eaux Ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (eaux usées des usines). [1]

Les origines des eaux usées sont au nombre de quatre :

- La pollution traditionnelle des eaux usées domestiques ;
- La pollution drainée par les eaux pluviales ;
- La pollution des industries implantées dans la commune ;
- La pollution des matières de vidange issues de l'assainissement autonome des habitations non raccordées au réseau d'assainissement collectif. [2]

#### **I.2.2 Définition d'une station d'épuration :**

Une station d'épuration est une usine qui nettoie les eaux usées des particuliers et des industriels ainsi que les eaux pluviales, Elle est installée généralement à l'extrémité d'un réseau de collecte, juste en amont de la sortie des eaux vers le milieu naturel pour les assainir (Assainissement des eaux usées).

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux, retirer les MES de densité différente de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, et aussi à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore...).

C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur. Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs principes, physiques et biologiques. Le plus souvent, le processus est biologique car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter. Une station d'épuration



est constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les différents polluants contenus dans les eaux. La pollution retenue dans la station d'épuration est transformée sous forme de boues. [3]



*Figure I-1 : Vue aérienne d'une station d'épuration [4]*

### **I.3 L'épuration des eaux à Mostaganem :**

#### **I.3.1 Présentation de la Wilaya de Mostaganem :**

La wilaya de Mostaganem se trouve au Nord-Ouest de l'Algérie sur le littoral méditerranéen. à 350 Km à l'Ouest d'Alger et à 80 Km à l'Est d'Oran. Elle est limitée à l'Est par la Wilaya de Chlef, au Sud-Est la Wilaya de Relizane, à l'Ouest la Wilaya d'Oran, au Sud-Ouest la Wilaya de Mascara.

Mostaganem compte plus de 877 450 habitants (statistiques de 2018) et se compose de 32 communes, réparties sur 10 Daïras. [5]

#### **I.3.2 Les systèmes d'épuration à Mostaganem :**

La Wilaya de Mostaganem dispose actuellement de neuf stations d'épuration (STEP), dont quatre réceptionnées : Mostaganem. Sidi Ali. Sidi Lakhdar et Khadra. Les autres stations sont celles de Mesra, Ben Yah, Hadjadj, Bouguirat et Fornaka sont en finition.

Les eaux épurées de la STEP de Mostaganem devraient en théorie servir à l'irrigation d'environ 2 000 ha. Ce qui n'est pas encore le cas.

Le rendement d'épuration des eaux usées est passé de 25 % en 2017 à 75 % en fin 2018. soit 126.000 M3/j. dont 71.700 M3/j sont déversés directement en mer. Actuellement le taux de dépollution du littoral est estimé à 95% par l'ONA. [6]

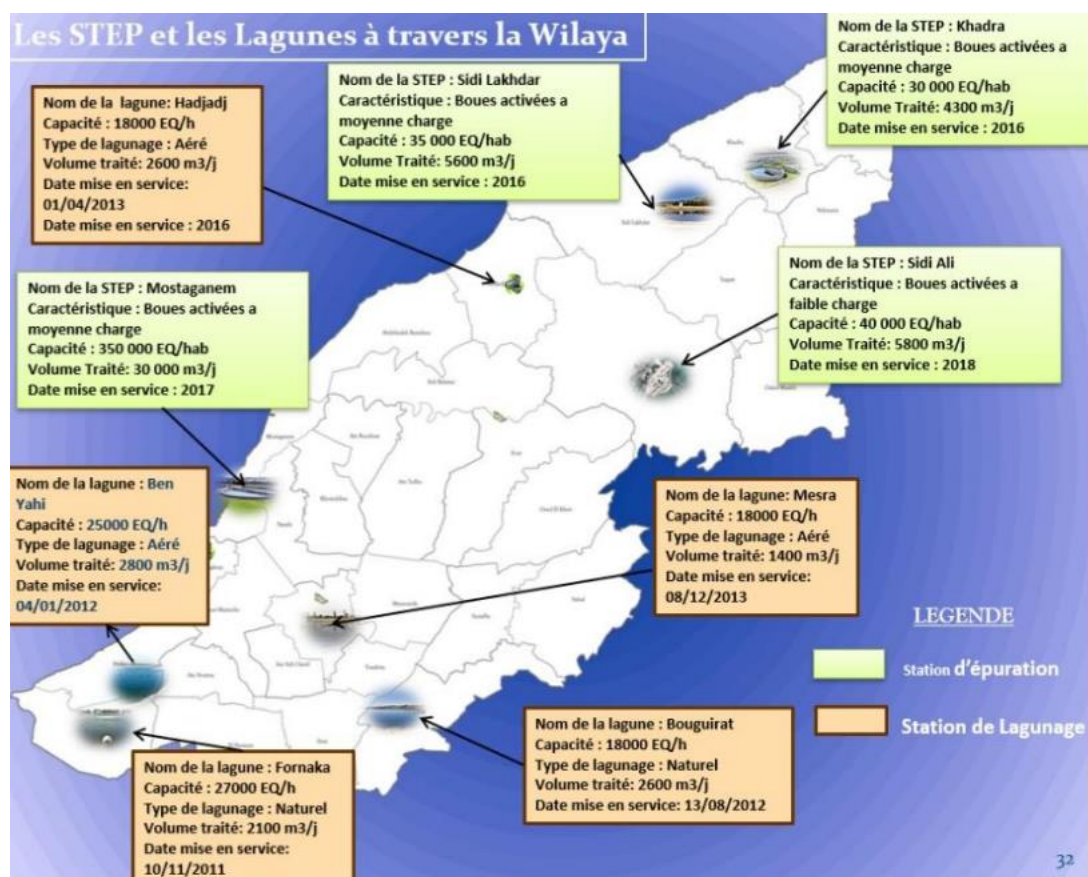


Figure I-2 : Les STEPs de la wilaya de Mostaganem [6]

#### I.4 Présentation de la STEP de la Salamandre Mostaganem :

La station d'épuration de la wilaya de Mostaganem qui fait l'objet de notre étude est située entre les Sablettes et la Salamandre à Mostaganem en face de la mer. Elle a été mise en service en Mars 2017. Elle permettra la dépollution des eaux usées urbaines domestiques des régions ouest et sud de Mostaganem, dont les localités de Stidia, HassiMameche, Ouréah, Mazagran, Mostaganem, Kheireddine, Sayada, et Ain Boudinar. Cette unité de traitement biologique des eaux usées, filtrera selon des opérations à travers ses bassins, une quantité d'eaux usées, évaluée à 56.000 m3/jour.

Les eaux usées des localités précitées seront "aspirées" et refoulées vers la station d'épuration, par des stations de relevage. Ainsi, cette dernière station contribuera dans la lutte contre la pollution marine du littoral de Mostaganem, avec les autres unités de traitement de Sidi Ali, de Sidi-Lakhdare, Khadra, déjà en service, et portera le traitement des eaux usées à un taux de satisfaction avoisinant les 85% à travers le territoire de la wilaya. [7]



**Figure I-3 : Maquette de la STEP de la Salamandre Mostaganem [8]**

Et voici quelques caractéristiques de la STEP dans le tableau ci-dessous (Tableau I-1)

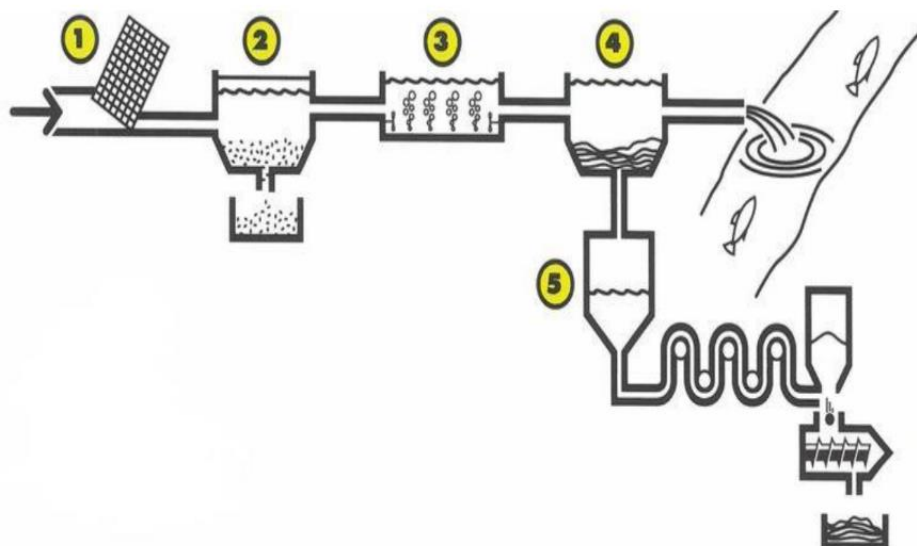
|                          |  |
|--------------------------|--|
| La capacité de la STEP   | 350 000 E.H = 56 000 m <sup>3</sup> /j |
| Le procédé de traitement | Boues Activées                         |
| Le milieu récepteur      | La mer                                 |
| Impact de la STEP        | La protection du littoral              |

**Tableau I-1 : Caractéristiques de la STEP**

#### **I.4.1 Le principe de fonctionnement de la STEP :**

La station est conçue pour répondre aux exigences de Salamandre, avec une capacité de : 350 000 E.H = 56 000 m<sup>3</sup>/j, la station d'épuration de Salamandre est de type Boues activées à moyen charge.

L'épuration des eaux usées consiste en un traitement biologique et comporte quatre étapes : le pré-traitement, le traitement biologique par boues activées, la clarification et le traitement des boues. En règle générale, pour les stations collectant plus de 10.000 équivalents-habitants, l'épuration des eaux usées arrivant à l'usine est effectuée par un traitement biologique et suit les étapes suivantes :



**Figure I-4 :** Les étapes de l'opération d'épuration des eaux usées [6]

- 1. Le pré-traitement commence par le dégrillage :** séparation des déchets solides les plus gros. Retenu par un système de tamis ou de grilles
- 2. Le pré-traitement se poursuit par le dessablage - dégraissage :** élimination des graisses par flottaison et des matières lourdes par décantation
- 3. Le traitement biologique par boues activées :** les micro-organismes (bactéries) transforment la pollution dissoute en boues biologiques par une alternance de phase d'aération et de repos dans des bassins. Le traitement biologique est la transformation de la pollution par des bactéries en gaz carbonique, eau traitée et boues
- 4. La clarification :** sépare les boues de l'eau qui, dépolluée à plus de 90 %, est ensuite rejetée dans le milieu naturel.



**Figure I-5 :** Rejet de l'eau dépolluée en mer

**5. Le traitement des boues :** consiste à concentrer la matière organique en filtrant les boues liquides pour obtenir des boues solides plus facilement transportable et stockable.  
[6]

### **I.5 Conclusion :**

En ce qui concerne notre étude, nous constatons que l'eau dépolluée est jetée à la mer, alors qu'elle représente une énergie exploitable vu le volume d'eau traité par jour de 56 000 m<sup>3</sup>.

Notre travail consiste à récupérer cette énergie et l'exploiter pour générer de l'électricité en utilisant une turbine hydroélectrique.

***CHAPITRE II :***  
***LA TURBINE HYDROELECTRIQUE***

## II. Chapitre 2 : La turbine hydroélectrique

### II.1 Introduction :

Dans ce premier chapitre, qui concerne la turbine hydroélectrique, l'objectif est de fournir une compréhension approfondie de son fonctionnement, de ses différents types, de ses composants et de ses applications, ainsi que d'explorer ses implications dans le contexte de la récupération de l'énergie cinétique présente dans les eaux usées et sa conversion en électricité.

### II.2 L'hydroélectricité :

#### II.2.1 Définition de l'hydroélectricité

L'hydroélectricité représente une source d'énergie renouvelable qui exploite l'énergie potentielle des flux d'eau, généralement à travers des chutes d'eau ou des courants rapides. L'énergie cinétique de l'écoulement de l'eau est convertie en énergie mécanique grâce à une turbine puis en énergie électrique grâce à un alternateur.

L'énergie hydroélectrique est une des plus anciennes productions électriques développées, et bénéficie de ce fait d'une très grande maturité technologique. Elle est aujourd'hui de très loin la première énergie renouvelable électrique.

Avec 16% de la production électrique mondiale, l'hydroélectricité constitue la troisième source de production électrique mondiale, derrière le charbon (41%) et le gaz (21%).

Dans le monde, une quarantaine de pays produisent plus d'un cinquième de leur électricité grâce à l'énergie de l'eau. Une vingtaine de pays, dont six en Europe (Norvège, Islande, Autriche, Suisse, Lettonie et Croatie), produisent plus de la moitié de leur électricité grâce à l'hydraulique. Contrairement à une idée reçue, les plus grands producteurs d'hydroélectricité ne sont pas des pays de montagne, mais des pays traversés par de nombreux fleuves et des rivières à gros débit et qui bénéficient, de ce fait, d'une ressource abondante. [9]

La production hydroélectrique est en croissance continue dans le monde, passant d'environ 1000TWh/an en 1965 à plus de 4300TWh/an en 2022. [10]

Ces données démontrent clairement que même si d'autres sources d'énergie renouvelables telles que le solaire et l'éolien se développent rapidement, l'hydroélectricité reste un pilier important du paysage énergétique mondial.

#### II.2.2 Importance de l'hydroélectricité dans la production d'énergie renouvelable

Son importance est notable pour plusieurs raisons :

##### 1. C'est une ressource durable

L'un des principaux avantages de l'hydro énergie est que l'eau est presque partout et peut être utilisée pour produire de l'électricité hydroélectrique. L'eau est une ressource renouvelable qui ne s'épuise jamais, nous permettant de conserver des ressources finies et ressources non renouvelables pour d'autres applications. L'énergie hydroélectrique est également une ressource précieuse car elle donne aux pays une plus grande indépendance énergétique. Une diminution de l'intérêt pour les sources de carburant externes peut contribuer à réduire les conflits et à améliorer les problèmes économiques dans les pays qui dépendent de sources étrangères pour leur carburant. Au lieu de cela,



ils peuvent utiliser l'énergie hydroélectrique pour produire de l'énergie domestique propre.

**2. Faible impact environnemental :**

L'énergie hydroélectrique est l'une des sources de production d'énergie les plus durables et accessibles aujourd'hui. Elle ne consomme pas de combustibles fossiles, n'émet aucune émission dangereuse et fournit un approvisionnement continu en énergie propre. Même si les barrages peuvent avoir un impact environnemental important, cet impact ressurgit que lors de la construction des barrages. La production d'électricité elle-même n'émet aucun dioxyde de carbone.

**3. Adaptabilité :**

L'énergie hydroélectrique est constante, contrairement à d'autres types d'énergie comme le solaire, l'éolien ou le charbon. La quantité d'eau utilisée pour produire de l'électricité peut être rapidement modifiée pour répondre à la demande d'approvisionnement. Cela implique que l'électricité puisse être rendue accessible en cas de besoin, réduisant ainsi le gaspillage d'énergie.

**4. Fiable et efficacité :**

L'un des avantages les plus importants de l'énergie hydroélectrique est qu'elle se classe parmi les options énergétiques les plus efficaces de la planète. L'énergie hydroélectrique présente peu ou pas de temps d'arrêt, car le débit d'eau n'est interrompu que pour les réparations, l'entretien et les mises à niveau réguliers. Énergie solaire, en revanche, sa production diminue chaque nuit à mesure que le soleil se couche, tandis que l'énergie éolienne n'est applicable que lorsqu'il y a une brise continue.

**5. La rentabilité :**

Même si l'investissement initial peut être substantiel, une fois qu'un barrage hydroélectrique est opérationnel, les coûts d'entretien et de rémunération des employés sont relativement bon marché. De plus, le prix de l'eau ne fluctue pas de la même manière que les combustibles fossiles traditionnels et les combustibles importés. L'énergie hydroélectrique peut permettre aux pays d'économiser beaucoup d'argent, et certains pays, comme le Paraguay, peuvent acquérir la quasi-totalité de leur électricité à partir de barrages hydroélectriques. [11]

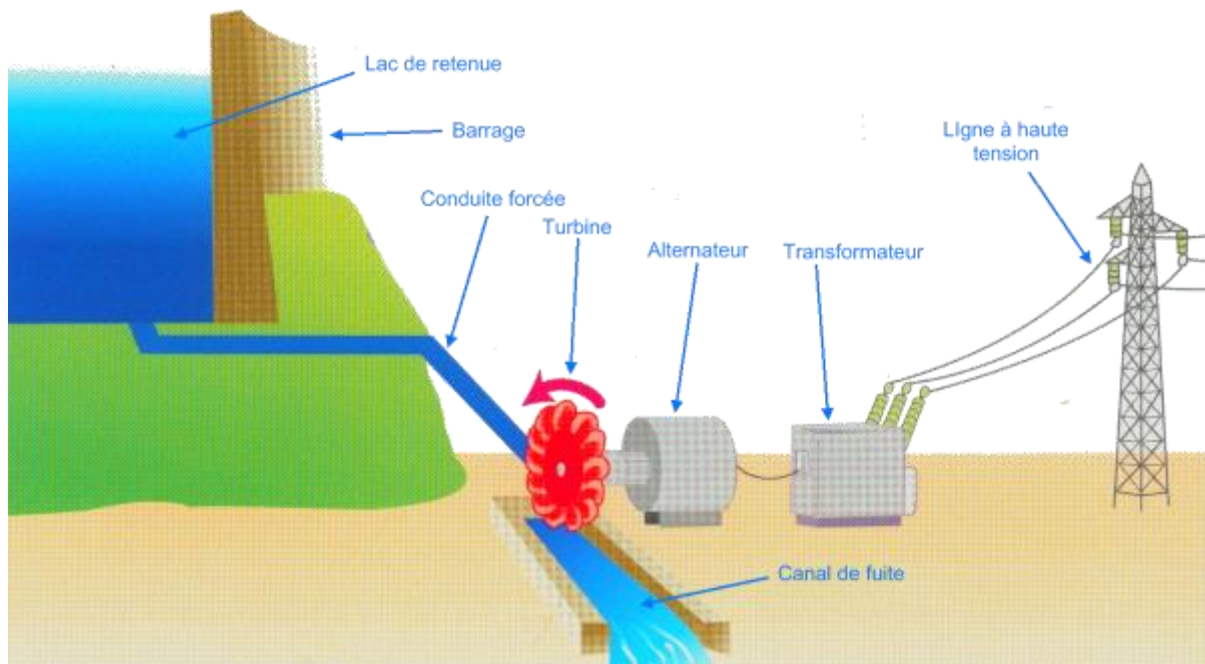
Et c'est pour toutes ces raisons que l'hydroélectricité a une importance considérable dans la production d'énergie renouvelable.

## **II.3 Notions sur les Centrales hydro-électriques :**

### **II.3.1 Définition et principe de fonctionnement d'une centrale hydro-électrique :**

Une centrale hydro-électrique exploite l'énergie cinétique et potentielle des cours d'eau pouvant provenir d'un fleuve, d'une rivière, d'une chute d'eau, d'un courant marin, etc. L'énergie du fluide est transformée en énergie mécanique à l'aide d'une turbine. Enfin, cette énergie est transformée en électricité grâce à un alternateur. La figure I.1 expose le principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique utile. [12]





**Figure II-1 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique [13]**

Un barrage retient l'écoulement naturel de l'eau, de grandes quantités d'eau s'accumulent et forment alors un lac de retenues. Une fois l'eau stockée, des vannes sont ouvertes au niveau du barrage pour que l'eau s'engouffre dans de longs tuyaux appelés conduite forcée, ces tuyaux à taille humaine, conduisent l'eau vers la centrale hydraulique située en contrebas. Pour préserver le milieu aquatique, un débit minimal est maintenu dans le milieu naturel entre le barrage et la centrale. Dans la centrale, à la sortie de la conduite, la force de l'eau fait tourner une turbine qui fait à son tour tourner un générateur. A l'intérieur du générateur, l'interaction entre le rotor et les bobines de fils de cuivre du stator produit un courant électrique, un transformateur élève ensuite la tension de ce courant à 225 ou à 400 V pour qu'il puisse être transporté plus facilement dans les lignes à très hautes tension du réseau. Enfin, l'eau turbinée qui a perdu de sa puissance rejoint le nid naturel de la rivière par un canal spécial appelé canal de fuite. [14]

### II.3.2 Classification des centrales hydroélectriques :

La classification se fait par quantité d'électricité produite comme le montre le tableau () ci-dessous

| Taille de la centrale | Puissance                                  |
|-----------------------|--|
| Grande centrale       | $P > 10\ 000\ \text{KW}$                   |
| Petite centrale       | $10\ 000\ \text{KW} > P > 1000\ \text{KW}$ |
| Mini centrale         | $1000\ \text{KW} > P > 10\ \text{KW}$      |
| Microcentrale         | $P < 10\ \text{KW}$                        |

**Tableau II-1 : Classification des centrales hydroélectrique [15]**

### II.3.3 Catégories de centrales hydroélectriques :

On distingue quatre grandes catégories de centrales hydroélectriques :

#### 1. Les centrales au fil de l'eau :

Elles sont implantées sur le cours de grands fleuves ou de grandes rivières. Elles sont caractérisées par un débit très fort et un dénivelé faible avec une chute de moins de 30 m.

Dans ce cas, il n'y a pas de retenue d'eau et l'électricité est produite en temps réel. Les centrales au fil de l'eau utilisent des turbines de type Kaplan.

#### 2. Les centrales fonctionnant en éclusées :

Ces centrales possèdent un réservoir de stockage dont le volume correspond à une période d'accumulation assez courte, en général, moins de 400 heures. Le réservoir est rempli aux heures les moins chargées en consommation électrique et le turbinage est activé aux heures de pointes.

Elles sont surtout installées en moyenne montagne et dans les régions de bas-reliefs. Elles sont caractérisées par un débit moyen et un dénivelé assez fort avec une chute comprise entre 30 et 300 m. Les centrales d'éclusée utilisent des turbines de type Francis.

#### 3. Les centrales de lac ou de haute chute :

Elles sont surtout présentes dans les sites de haute montagne. Elles sont caractérisées par un débit faible et un dénivelé très fort avec une chute supérieure à 300 m. Le barrage s'oppose à l'écoulement naturel de l'eau pour former un lac de retenue. Les centrales de lac utilisent des turbines de type Pelton. Ces centrales sont généralement utilisées pour répondre aux pics de consommation électrique.

#### 4. Les stations de transfert d'énergie par pompage :

Elles sont reliées à deux bassins ; un bassin en altitude et un bassin inférieur. Entre les deux, est placé un système permettant à la fois le pompage et le turbinage. Le pompage de l'eau dans le réservoir supérieur permet de stocker de l'énergie pendant les heures creuses et, à l'inverse, le turbinage permet de répondre aux pics de consommation. Ces centrales ne sont pas réellement considérées comme moyen de production à base d'énergie renouvelable car elles consomment de l'électricité pour remonter l'eau qui sera turbinée par la suite. Elles sont plus vues comme un moyen de stockage d'énergie. [12]

## II.4 Les principes de base des turbines hydroélectriques

### II.4.1 Explication du fonctionnement général d'une turbine hydroélectrique :

Une turbine hydroélectrique est un dispositif conçu pour convertir l'énergie cinétique de l'eau en énergie mécanique, qui est ensuite utilisée pour générer de l'électricité

L'énergie potentielle gravitationnelle est convertie dans un premier temps en énergie cinétique. L'eau en écoulement est accélérée à une vitesse maximale au sein d'un distributeur.

Cela permet de faire fonctionner le rotor d'un générateur qui se charge à son tour de transformer l'énergie mécanique emmagasinée en énergie électrique. Les turbines sont en général fabriquées sur mesure pour chaque centrale électrique, ce qui permet de garantir une efficacité maximale.

La roue est sans doute la pièce maîtresse de la turbine hydraulique. C'est elle qui tourne sous l'impulsion de la force de l'eau en mouvement. Selon le débit d'eau et la hauteur de la chute, on peut distinguer différentes turbines hydrauliques. [16]

Pour récapituler, une turbine hydroélectrique exploite de l'eau en mouvement pour générer de l'électricité de manière propre et renouvelable, en utilisant le principe de la conversion d'énergie en énergie électrique.

#### II.4.2 Les catégories de turbines hydroélectriques :

Il existe deux types de turbines hydroélectriques en fonction de la conversion de l'énergie hydraulique en énergie mécanique. Voici une explication de chaque type :

##### 1. Turbine à action :

Un jet libre agit sur des augets ou des aubes profilées placées sur la périphérie d'une roue (action).

Ce jet exerce une force sur l'auget en mouvement de rotation, qui est transformée en couple et puissance mécanique sur l'arbre de la turbine.

La turbine à action est caractérisée par le fait que l'énergie à disposition de l'aubage est entièrement sous forme d'énergie cinétique.

L'échange d'énergie entre l'eau et l'aubage a lieu à pression constante, généralement la pression atmosphérique. La roue de la turbine est dénoyée et tourne dans l'air. [17]

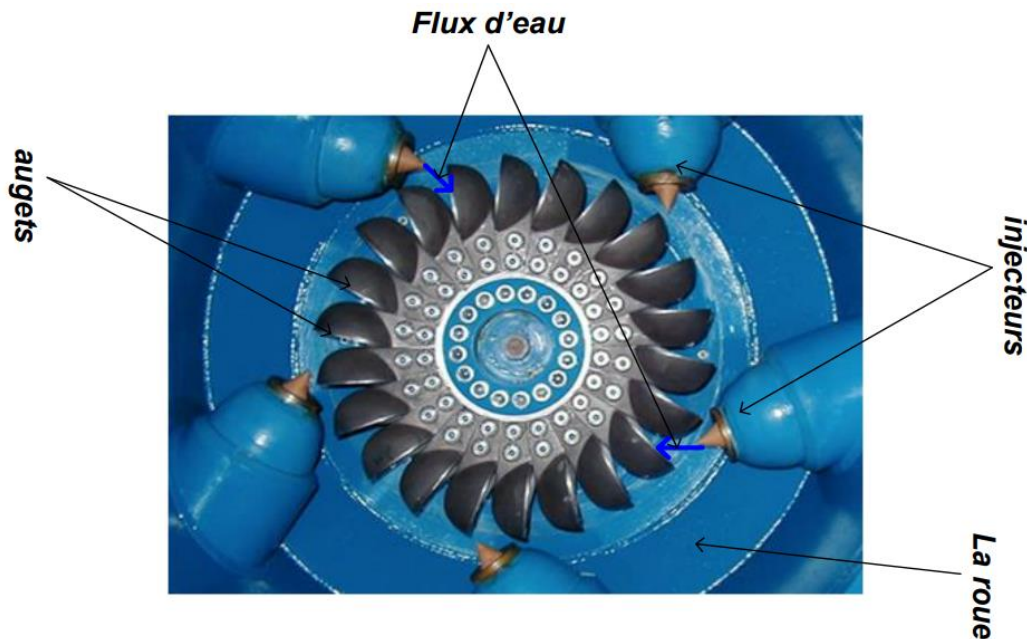


Figure II-2 : Photo réelle d'une turbine à action [18]

## 2. Turbine à réaction :

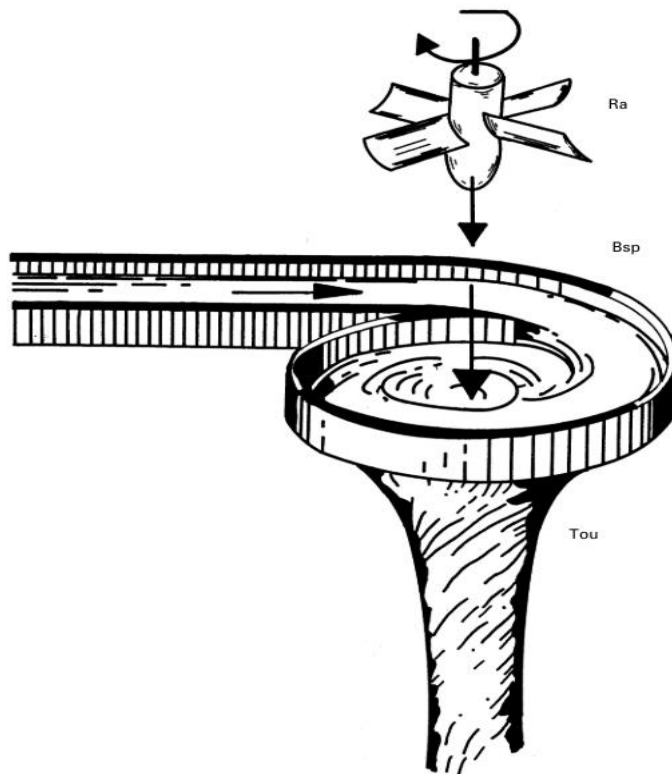
Une turbine à réaction est une machine fermée (noyée) qui utilise à la fois la vitesse de l'eau (énergie cinétique) et une différence de pression.

Deux principes sont à la base de son fonctionnement :

1. la création d'un tourbillon au moyen d'une bêche spirale, d'aubages directeurs, ou les deux à la fois ;
2. la récupération du mouvement circulaire du tourbillon par les aubages d'une roue en rotation qui dévient les filets d'eau pour leur donner une direction parallèle à l'axe de rotation.

Ces aubages se comportent comme une aile d'avion : l'écoulement de l'eau provoque sur le profil de l'aube une force hydrodynamique qui induit un couple sur l'arbre de la turbine.

Comme pour une aile d'avion, la force portante résulte d'une différence de pression entre les deux faces du profil (intrados et extrados). [17]



**Figure II-3 :** Image schématique d'une turbine à réaction [17]

**Tou :** tourbillon d'eau

**Bsp:** canal à tourbillon figurant la bêche spirale

**Ra :** roue à palettes figurant la roue à aubes de la turbine, placée dans le tourbillon d'eau

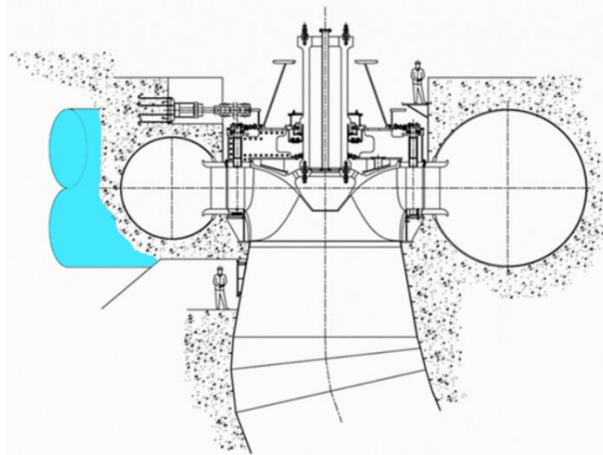
En résumé, les turbines à action utilisent l'énergie cinétique de l'eau pour faire tourner la turbine, tandis que les turbines à réaction utilisent la pression de l'eau pour exercer une force sur les pales de la turbine. Chaque type de turbine est adapté à des conditions spécifiques de hauteur de chute et de débit de l'eau.

### II.4.3 Les composants principaux d'une turbine hydroélectrique :

#### 1. La conduite forcée :

La conduite forcée amène l'eau à la turbine. C'est un tuyau qui peut être externe ou sous terre. Il est soumis à une large gamme de chargements et d'agressions pour lesquels il doit être conçu et réalisé.

Ses sections droites sont parfois utilisées pour mesurer le débit. Dans sa plus simple expression, on l'appelle amenée.

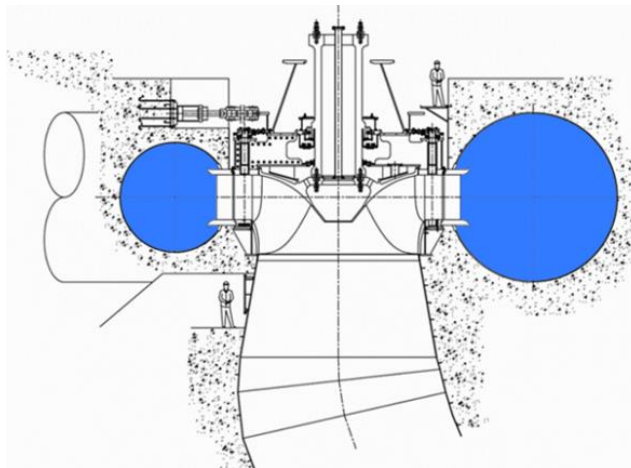


*Figure II-4 : La conduite forcée*

#### 2. La bêche spirale :

La bêche spirale crée un tourbillon contenant l'énergie de la chute en amenant l'eau à tourner autour de l'avant-distributeur. L'eau est distribuée entre les avant-directrices et sa quantité est liée à la variation de la section de la bêche. Le but est d'obtenir un champ de vitesse uniforme sur toutes les avant-directrices. Hydrauliquement, la bêche n'est pas toujours nécessaire. Lorsque l'énergie de la chute est faible, on peut éliminer la bêche spirale. Il y a pour ces cas de faible chute la bêche fronto-spirale qui permet d'intégrer l'amenée et la bêche.

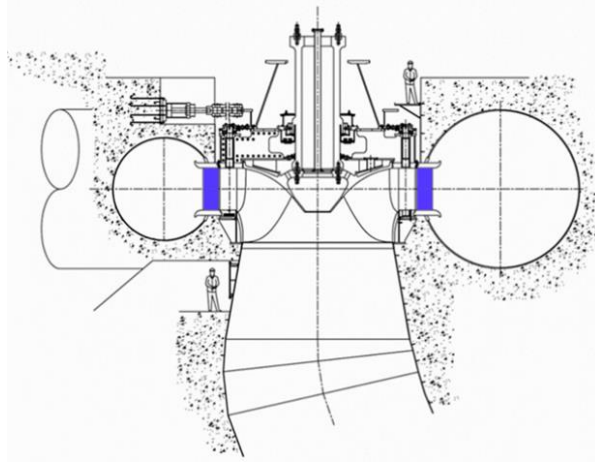
La bêche est attachée mécaniquement à l'avant-distributeur et est généralement ancrée dans le béton. C'est un réservoir sous-pression.



*Figure II-5 : La bêche spirale*

### 3. L'avant-distributeur et les avant-directrices :

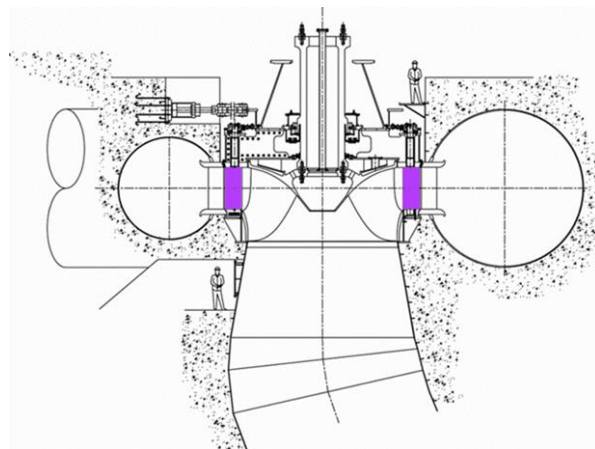
Les avant-directrices dont l'ensemble constitue l'avant-distributeur corrigent si nécessaire le tourbillon créé par la bêche, mais a surtout un rôle mécanique en reprenant en les efforts de pressions communiqués par la bêche aux flasques de l'avant-distributeur.



*Figure II-6 : L'avant distributeur*

### 4. Le distributeur et les directrices :

Les directrices contrôlent le débit et le distribuent également sur le pourtour de la roue. La vitesse tangentielle à la sortie des directrices possède l'énergie à être absorbée par la roue.

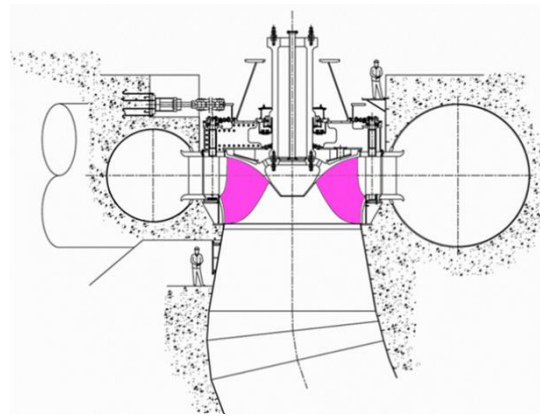


*Figure II-7 : Le distributeur et les directrices*

### 5. La roue :

La roue transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique. L'énergie hydraulique transformée résulte de la déviation de l'eau et donc de la réduction de la vitesse tangentielle entre l'entrée et la sortie de la roue.

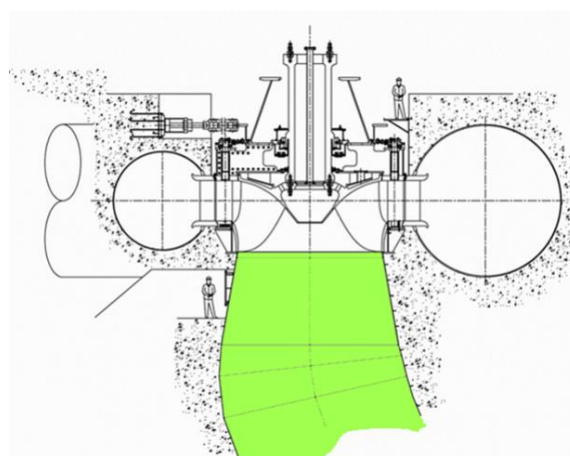




**Figure II-8: La roue**

### 6. L'aspirateur :

L'aspirateur retourner l'eau à la rivière et diminue la perte d'énergie cinétique à la sortie de la turbine augmentant ainsi la chute vue par la roue. [19]



**Figure II-9 : L'aspirateur [19]**

### 7.L'arbre de transmission :

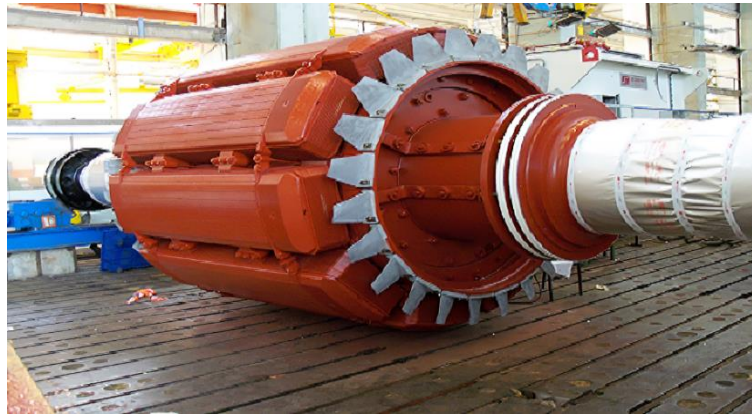
Une fois l'énergie hydraulique convertie en énergie mécanique, cette énergie est transférée à l'arbre de transmission. Ce dernier transmet ensuite le mouvement mécanique à l'alternateur.



**Figure II-10 : L'arbre de transmission [20]**

**8.L'alternateur :**

C'est le composant essentiel qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Il est composé d'un stator fixe et d'un rotor en rotation. Lorsque le rotor tourne grâce à l'énergie mécanique fournie par la turbine, il induit un champ magnétique qui génère un courant électrique dans les bobines du stator, produisant ainsi de l'électricité.



*Figure II-11 : L'alternateur [21]*

**II.4.4 Les principaux types de turbines hydroélectriques :**

Toutes les turbines largement employées dans les centrales sont des modèles à action ou à réaction. C'est notamment le cas de la turbine Pelton, de la turbine Francis, de la turbine Kaplan et de la turbine Crossflow.

**1/ Turbine Pelton :**

Les turbines Pelton sont en général utilisées dans les centrales de haute chute (de 130 à 2000 mètres) et de faible débit. Elles sont bien indiquées dans le cas des barrages de haute montagne. La turbine Pelton est une machine à action dont l'axe peut être horizontal ou vertical. Ce type de turbine est composé d'une roue mobile et d'un distributeur fait d'injecteurs.

Les injecteurs sont des tuyères convergentes qui transforment l'énergie hydraulique de pression en énergie cinétique. Disposés autour de la roue, ils émettent un jet à pression atmosphérique qui est dirigé vers le milieu des augets. Par une variation de la sortie des pointeaux, il est possible de régler le débit et de régler le diamètre du jet.

Dans une turbine Pelton, la roue tourne à pression atmosphérique. Lors de son passage dans celle-ci, l'eau est toutefois déviée de presque 180°, ce qui lui permet de céder toute son énergie cinétique. Cela explique que ce type de turbine ne dispose pas de diffuseur. La présence d'un boîtier suffit en général pour récupérer et canaliser l'eau.[16]



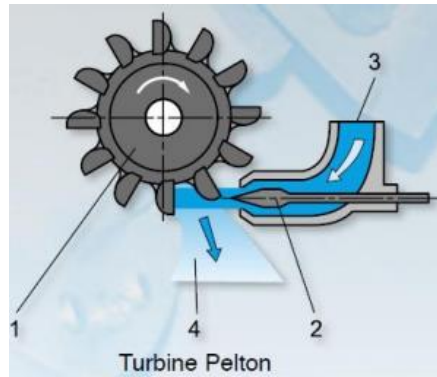


Figure II-12 : Turbine Pelton [22]

1- Rotor, 2- Distributeur, 3- Entrée d'eau, 4- Sortie d'eau

### 2/ Turbine Francis :

Les turbines Francis sont très indiquées pour des hauteurs de chute (40 à 730 mètres) et débits moyens. On les rencontre fréquemment dans les centrales au bord de l'eau. Il s'agit d'une turbine à réaction.

Son distributeur est enroulé autour de la turbine. L'eau y entre par toute sa périphérie. Quant à sa sortie, elle se fait de manière axiale dans le diffuseur.

La turbine Francis est sans doute l'un des plus anciens modèles de turbines et aussi l'un des plus répandus. On la retrouve dans plusieurs configurations possibles (horizontal en mini-hydro, en axe vertical). Très robuste et efficace, son enfoncement se fait à environ 2 m sous le niveau aval. La roue peut dans certains cas se situer au-dessus de ce dernier. [16]

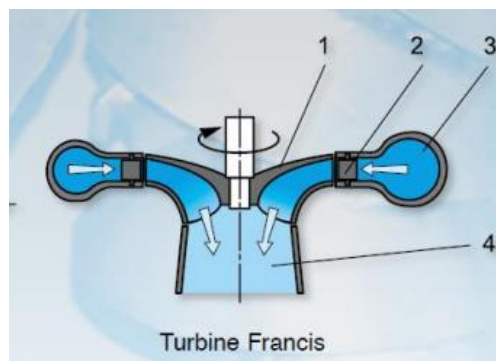


Figure II-13 : Turbine Francis [22]

1- Rotor, 2- Distributeur, 3- Entrée d'eau, 4- Sortie d'eau

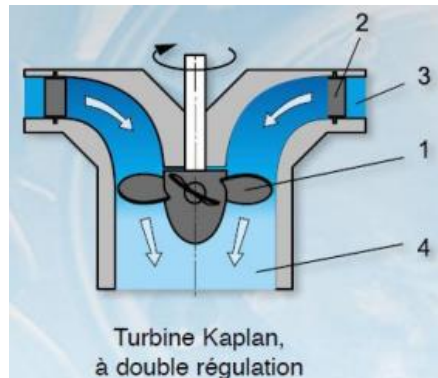
### 3/ Turbine Kaplan :

Ce type de turbine est très répandue sur les chutes de faible hauteur (5 à 80 m) et à débit important. La turbine Kaplan est un modèle à réaction de type axial. Son axe est vertical et l'une de ses particularités est qu'elle offre la possibilité de régler l'angle d'inclinaison des pales, ce qui permet d'adapter le débit qui passe dans la turbine à celui de la rivière.

Les turbines Kaplan sont des machines assez courantes. Leur enfoncement d'environ 5 m sous le niveau aval est plutôt modéré. De plus, le pas de ses pales est ajustable, ce qui fait que le rendement de cette turbine est très peu sujet à des variations.

L'une des variantes de la turbine Kaplan est la turbine Bulbe. Il s'agit en effet d'un appareil Kaplan à axe horizontal. Elle a été conçue pour les aménagements de faible chute au fil de l'eau. Leur structure ressemble à celle d'un sous-marin.

Le bulbe est également caractérisé par un enfoncement plutôt important de la roue par rapport au niveau naval (approximativement 10 m). [16]



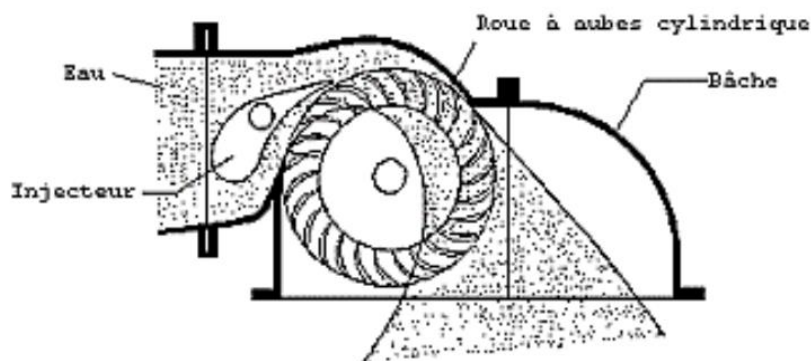
**Figure II-14 : Turbine Kaplan [22]**

1- Rotor, 2- Distributeur, 3- Entrée d'eau, 4- Sortie d'eau

#### 4/ La turbine Crossflow :

La turbine Banki-Mitchell ou Crossflow est une turbine à action dans laquelle l'eau est injectée dans un rotor cylindrique à axe horizontal qui passe à travers un convergent rectangulaire. L'écoulement dans ce type de turbine est dévié au contact des aubes périphériques. Le rotor dispose d'une trentaine d'aubes incurvées qui sont fixes et parallèles à l'axe de la rotation.

L'un des grands points forts de cette turbine réside dans sa simplicité. Elle ne comporte en effet que trois pièces en mouvement : le rotor et les deux volets de réglage du débit. [16]



**Figure II-15 : Turbine Crossflow [23]**

## II.5 Turbinage des eaux usées

### II.5.1 Introduction sur le sujet :

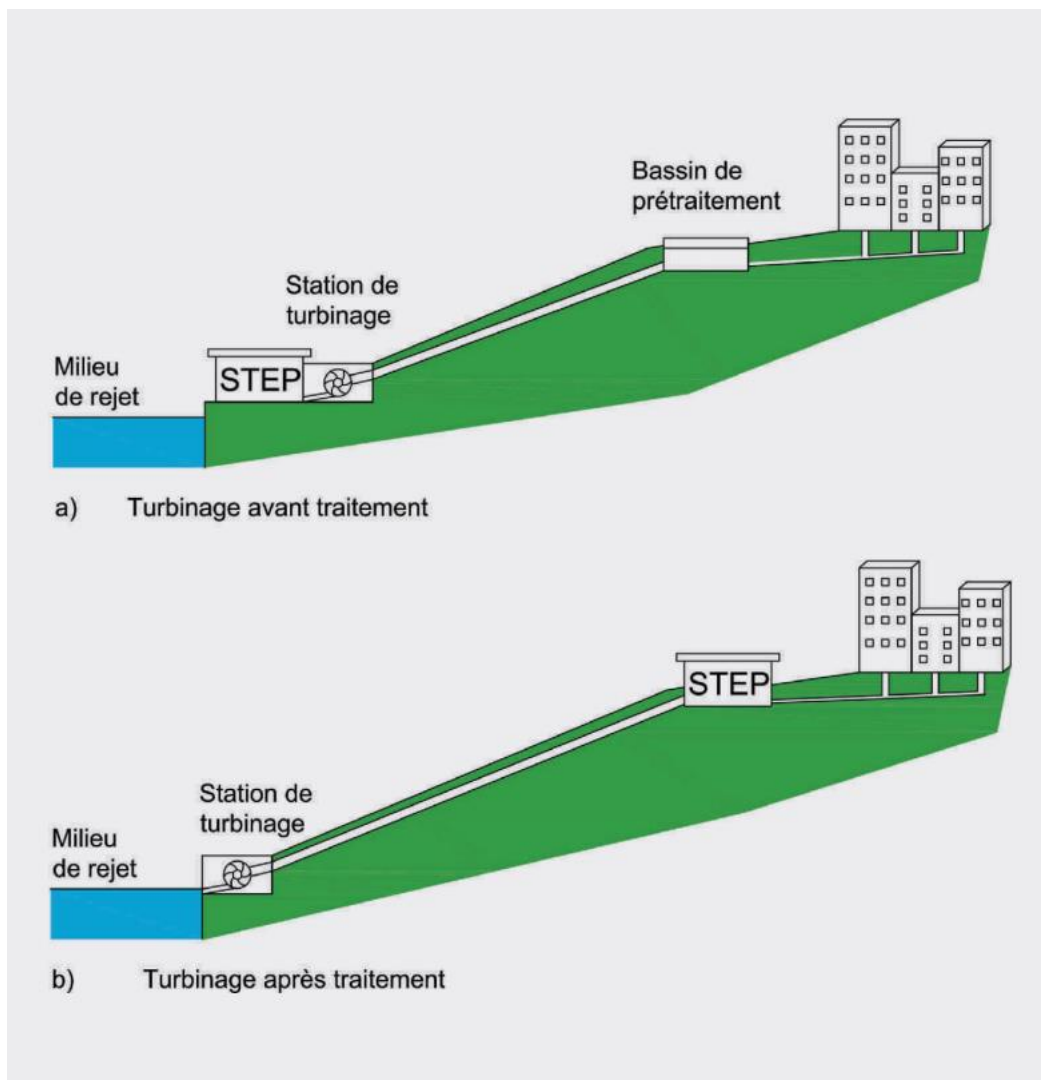
Le turbinage des eaux usées consiste à utiliser des turbines pour récupérer l'énergie cinétique présente dans les eaux usées et la convertir en électricité.

Cette méthode est appliquée dans les stations d'épuration, où l'eau est déjà en circulation. Les turbines sont placées dans ces flux pour récupérer l'énergie et la transformer en électricité, ce qui contribue à la production d'énergie renouvelable.

### II.5.2 Etat de l'art :

Il existe 2 possibilités de production hydroélectrique sur les réseaux d'eaux usées (figure ..) :

- Turbiner les eaux usées avant qu'elles ne soient traitées à la station d'épuration.
- Turbiner les eaux usées traitées avant leur rejet dans un milieu naturel tels qu'un cours d'eau ou la mer.



**Figure II-16 : Possibilités d'installation du turbinage des eaux usées [24]**

Comparé aux installations hydroélectriques classiques, le turbinage sur les eaux usées possède certaines particularités :

**Qualité des eaux :** la présence de matières grossières dans les eaux brutes non traitées, qui risquent d'obstruer la conduite et la turbine, rend obligatoire la présence d'un tamiseur/dégrilleur et d'un bassin en amont de la conduite forcée. De plus, la concentration élevée en matières en suspension peut endommager la turbine et engendre donc une maintenance et un remplacement plus fréquents de la turbine. Ce problème ne se pose a priori pas pour le turbinage des eaux traitées, dont la qualité est similaire aux eaux de rivière.

**Mise en charge du réseau :** les réseaux d'eaux usées étant à surface libre, une nouvelle conduite forcée devra être construite pour le transport des eaux entre la prise d'eau et la turbine. [24]

### II.5.3 Exemple d'un cas existant :



**Figure II-17 :** Turbine de la STEP de l'AÏRE à Genève en Suisse [24]

#### **Ses caractéristiques :**

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| <i>Chute brute</i>   | <i>7m</i>        |
| <i>Débit nominal</i> | <i>3200 l/s</i>  |
| <i>Puissance</i>     | <i>200 kW</i>    |
| <i>Production</i>    | <i>260 MWh/a</i> |
| <i>Turbine</i>       | <i>Kaplan</i>    |

L'installation de la STEP de l'Aïre à Genève est un exemple de turbinage des eaux après traitement. Elle correspond à un cas typique d'une installation à faible chute et débit important dans une agglomération.

### **II.6 Conclusion :**

Ce chapitre nous a offert une compréhension approfondie de la turbine hydroélectrique, de son fonctionnement, de ses types et de ses différents paramètres, ce qui va nous aider à choisir la turbine la mieux adaptée à notre site d'étude après les calculs.

## ***CHAPITRE 3 : Dimensionnement de la Turbine***

### **III. Chapitre 3 : Dimensionnement de la turbine**

#### **III.1 Introduction :**

La stratégie de l'Algérie ne se base pas sur les énergies hydrauliques, vu que leurs rendements en énergies sont moyens ou faibles par rapport aux autres énergies renouvelables et électriques. Même, elle ne dispose actuellement d'aucune installation sur le turbinage des eaux usées, elles sont toutes en arrêt par décret ministérielle. Par contre la topographie de l'Algérie nous laisse penser qu'ils existent des sites potentiels qui peuvent produire de l'énergie hydroélectrique.

Dans ce chapitre on va démontrer qu'il est possible que de nouveaux potentiels peuvent être utiles et rentables pour une STEP, dans notre cas la STEP de la ville de Mostaganem.

L'étude du site potentiel pour la ville de Mostaganem pourrait se révéler très intéressante. Et, elle sera réalisée, sur la base de données importantes de la station, et ce qui justifie que l'étude pour une petite centrale pourra être réalisable et rentable selon le besoin.

Le présent chapitre s'intéresse qu'au turbinage des eaux usées domestiques/industrielles, et prend en considération les réseaux des eaux pluviales.

#### **III.2 Objectif de l'étude de potentiel :**

##### **III.2.1 Etude du potentiel de turbinage des eaux usées de Mostaganem :**

Le projet a pour objectif de développer une mini centrale hydroélectrique qui sera installée au niveau du rejet de l'unité centrale des eaux usées de la ville de Mostaganem (site de mazagran).

##### **III.2.2 Méthode utilisée pour réaliser une mini central hydroélectrique :**

- Analyse topographique du site de la ville de Mostaganem.
- Relevé et calcul des volumes disponibles des eaux usées rejeté selon la population et les débits moyens quotidiens.
- Identification des rejets important.
- Etude détaillée du site par la méthode de l'analyse dimensionnelle.
- Détermination du potentiel énergétique.

**a) En première étape :**

L'étude se fera pour La collecte d'informations à partir de bases de données existantes sur le site de la STEP.

**b) En deuxième étape :**

Les procédures utilisées de l'étude sont inspirées des études réalisables,

❖ L'étude se répartit comme suit :

- Etude technique pour l'estimation de la quantité d'énergie disponible.
- Etude de rentabilité pour la détermination de la puissance installée optimale du site,

**III.3 Evaluation globale du potentiel énergétique :****III.3.1 Données disponibles :**

La méthodologie d'évaluation du potentiel a été développée à partir des paramètres et des données disponibles sur la ville de Mostaganem, ou sont utilisées pour l'étude de potentiel énergétiques :

**III.3.2 Informations sur la station d'épurations :**

- Coordonnées des rejets.
- Débits moyens + Débits moyens par temps sec.
- Bassins versants de rejet.
- Nombre d'habitants.

**III.3.3 Informations sur les cours d'eau**

- Type des cours d'eau.
- Débits moyens des cours d'eau.

**III.3.4 Hypothèses préliminaires**

La méthode développée comporte une partie d'évaluation de potentiel énergétique théorique et une partie d'évaluation sur la base de l'analyse dimensionnelle. La partie technique calcule d'énergie disponible en KWh/an dans le réseau d'eaux usées, tandis que l'analyse optimise pour le potentiel de la puissance installée et l'énergie productible pour permettre une rentabilité maximale.



### III.4 Etude de site proposé de la STEP :

#### III.4.1 La topographie :

La topographie de la ville de Mostaganem nous donne une vision de penser qu'il pourrait exister un potentiel énergétique à partir des eaux usées non exploitées dans les rejets.

Dans notre travail présenté dans ce mémoire relatif à cette station de rejet de la ville de Mostaganem, ou la chute exploitée entre le point haut et le point bas de la descente du rejet d'eaux usées centre-ville MOSTAGANEM est de 8 mètres.

#### III.4.2 Potentiel énergétique :

L'étude s'est concentrée sur le potentiel énergétique par rapport au rejet des eaux usées, ce qui est expliqué par le système de turbinage des eaux usées rejetées.

Le potentiel énergétique pourrait être réalisé et disponible, et qui est défini par le calcul de l'énergie de production selon l'équation (III.1), où  $E_{prod}$  (kWh/an) désigne l'électricité produite,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) la masse volumique des eaux usées,  $H_{nette}$  (m) la chute nette,  $V_{eaux\ usées}$  (m<sup>3</sup>/a) le volume d'eaux usées traitées annuellement et  $\eta$  (%) le rendement global de l'installation.

$$\text{L'équation : } E_{prod} = \eta * \rho * g * H_{nette} * V_{eaux-usées} \text{ (III.1)}$$

#### III.4.3 Données importants (Q ; H ; $\eta$ )

Les valeurs pour les calculs sont supposées que  $\eta = 0,7$  la valeur moyenne de rendement de mini centrale hydroélectrique, et que les pertes de charges sont à hauteur de 10% de la chute brute.

#### III.4.4 Les caractéristiques de site :

- Caractéristiques de rejet :
  - Une conduite de rejet en acier de longueur 16m et de diamètre DN1000 sera calculée pour le remplacement de la rigole de rejet ouverte.
  - Choix de la conduite Standard après le calcul
  - Volume d'eau usée à traiter max : 5600 m<sup>3</sup>/h ;
  - Volume d'eau usée à traiter moyen : 3735 m<sup>3</sup>/h ;
  - Descente existante de rejet par rapport au point bas de 8 mètres.

### III.4.5 Les installations de site proposés et développés :

- ❖ Un bassin de mise en charge.
- ❖ Un bassin de prétraitement
- ❖ Une conduite en acier de DN1000, de longueur 16m installé du point haut de la descente jusqu'à l'entrée de la turbine
- ❖ Un coude de diamètre 1000mm installé à la sortie du bassin de rejet vers la descente de rejet.
- ❖ Une centrale hydroélectrique.
- ❖ Conduite de rejet vers la mer.

### III.5 Rentabilité de site :

#### III.5.1 Rentabilité énergétique :

Le rendement énergétique est le rapport entre la valeur énergétique produite et celle consommée lors d'un processus tel que la production d'énergie électrique par une minicentrale hydraulique. Il s'exprime par un pourcentage, entre 0 et 100 %. Ce rendement est déterminé par des caractéristiques de la station d'épuration (STEP) et le choix de la turbine hydraulique. (Voir le graphe de sélection des turbines Figure III-3)

#### III.5.2 L'électricité produite de l'installation de site :

On a la formule :

$$E_{prod} = \eta * \rho * g * H_{nette} * V_{eaux-usées} \quad (III.1)$$

Et On a les données suivantes :

$$\text{Equation } E = \rho * \eta * g * H_{nette} * V_{\text{eau usée}}$$

$$\text{Masse volumique } \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rendement moyenne } \eta = 0,7$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ (accélération due à la pesanteur (m/s}^2\text{))}$$

$$\text{Chute nette } H_{nette} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Volume d'eaux usées traitées annuellement } V_{\text{eau}} = 3735 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Egale } = 3735 * 365 * 24 \text{ m}^3/\text{an}$$

$$= 32\,718\,600 \text{ m}^3/\text{an}$$

Donc la production d'énergie :

$$E = 1000 * 0.7 * 9.81 * 8 * 32\,718\,600$$

$$= 1\,797\,429\,009\,600 \text{ J/an} = 1\,797\,429\,009\,600 / (3600 * 10^6)$$

$$\approx 500 \text{ MWh/an}$$

Cela représente la production d'énergie moyenne de la petite centrale hydraulique

### III.5.3 Calcule des pertes de charge de l'installation :

Les calculs de dimensionnement énergétique de ces sites (potentiel hydraulique, pertes de charges, rendement de ces centrales.) nous ont permis de dire d'une part que les pertes de charges jouent un rôle important dans l'efficacité d'une centrale hydroélectrique et d'autre part de confirmé le bon choix du type de turbine dans ces centrales

Les pertes de charge peuvent être :

- Linéaires ou régulières : elles correspondent alors à l'écoulement le long des conduites.
- Singulières : elles se manifestent sur les pièces spéciales qui modifient la direction ou la section de passage du fluide (raccord, T, vannes, soupapes, etc.).

#### III.5.3.1 Les pertes de charge singulière

✓ Les pertes de charge singulière HLs se détermine par la formule :

$$HLs = \xi * \frac{v^2}{2 * g} \quad (III.2)$$

HLs : pertes singulières, en [m]

$\xi$  : coefficient de pertes de charge, sans unité, dépend du type de singularité et de sa géométrie.

v : vitesse de l'écoulement, en [m/s], à l'amont de la singularité

g: accélération due à la pesanteur, en m<sup>2</sup>/s

#### III.5.3.2 Calcule du diamètre de la conduite :

Le calcul du diamètre dépend des paramètres maximaux d'un débit max et d'une vitesse d'écoulement max.

La vitesse maximale d'un liquide est prise des codes standards  $V_{norme}=4\text{m/s}$  [25]

Et le débit maximal (eau pluviale inclut) donner par la station est  $5600\text{m}^3/\text{h}$

$$5600\text{m}^3/\text{h}=5600/3600 \text{ m}^3/\text{s}=1.55556 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = \pi * \frac{d^2}{4} \quad (III.3)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * \frac{Q_{max}}{V_{norme}}}{\pi}} = 0.70346 \text{ m}$$

❖ Le résultat du diamètre de conduites est de 7035mm, alors le choix de la conduite se fait au code standard, ou on a le choix par référence correspondant à une conduite DN1000 de diamètre 1000 mm (1 mètre).

**III.5.3.3 Calcul de vitesse d'écoulement :**

❖  $Q=3735 \text{ m}^3/\text{h}=3735/3600 \text{ m}^3/\text{s}=1.0375 \text{ m}^3/\text{s}$

Section de la conduite pleine (surface circulaire :  $S=\pi*(d^2/4) = 3.14*(1/4) = 0.785\text{m}^2$

$V=Q/S=1.0375/0.785$

$V=1.32166 \text{ m/s}$

**III.5.3.4 Calcul du coefficient de perte de charge singulière (coude) :**

La perte de charge pour un coude dans une conduite est référencée par un coefficient qui est déterminé par sa courbure et son angle afin de trouver le rayon de courbure de ce coude.

NB : la fabrication des coudes est normalisée, et que la valeur coude choisi et très proche de la valeur calculer.

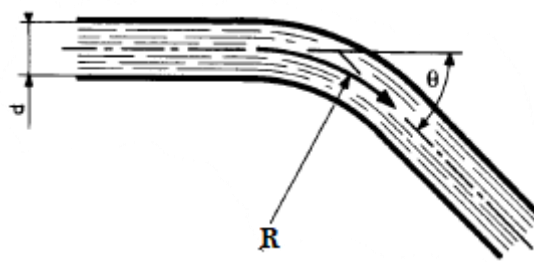
Le calcul du rayon de courbure R est déterminé par la formule suivante :

Diamètre du coude : 1000 mm

L'angle du coude : 30 degrés

Formule :  $R = \frac{d}{2*\sin(\frac{\theta}{2})}$  (III. 4)

$R = \frac{1}{2 * \sin(\frac{30}{2})} \approx 1.931\text{m} = 1931\text{mm}$



**Figure III-1 : Rayon de courbure d'un coude**

D'après la formule de Weisbach, le coefficient de perte de charge d'un coude est déterminé par la formule suivante :

$\xi = \left( 0.131 + 1.847 * \left( \frac{d}{2R} \right)^{3.5} \right) * \frac{\theta}{90}$  (III. 5)

Pour le rapport R/d d'un coude avec un angle theta=30 degrés on a le tableau suivant :

|     |   |     |   |     |
|-----|---|-----|---|-----|
| R/d | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 |
|-----|---|-----|---|-----|

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\xi$ | 0.098 | 0.057 | 0.048 | 0.046 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

**Tableau III-1 : Coefficient de perte de charge d'un coude**

- Le rapport R/d est 1.931/1, ou il est égal à 1.931, et qui correspond à 2 sur le tableau avec un coefficient  $\xi = 0.048$

D'après la formule (III.2) :

$$HLs = 0.048 * \frac{(1.32166)^2}{2 * 9.81}$$

$$HLs = 0.00423m$$

### III.5.3.5 Les pertes de charge linéaire :

- Les pertes de charge linéaire H<sub>Ll</sub> se détermine par la formule suivante :

$$HLl = v^2 * \frac{L}{K^2 * Rh^{\frac{4}{3}}} \quad (III. 6)$$

Avec :

V : vitesse de l'écoulement en m/s

L : longueur conduite en m

K : coefficient de rugosité en m<sup>1/3</sup>/s

R : Rayon hydraulique en m

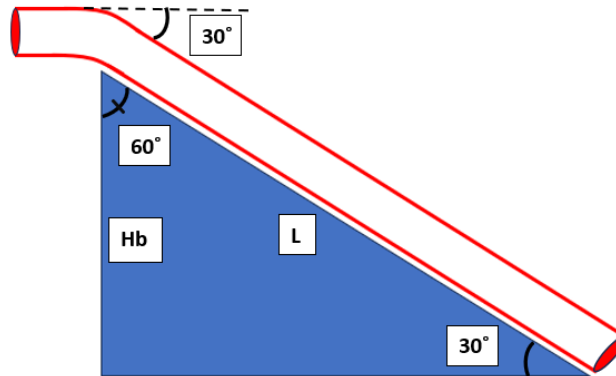
La vitesse de l'enroulement est v=1.32166 m/s et pour une conduite en acier a bon état  
k=75m<sup>1/3</sup>/s

Rh : Rayon hydraulique Rh=d/4 (III.7)

Rh=1/4=0.25m

### III.5.3.6 Calcul de la longueur de conduite :

Pour déterminer la longueur  $L$  de la conduite selon les données disponibles (chute  $Hb$ , angle  $30^\circ$  de la pose de la conduite vers la descente), on utilise les fonctions trigonométrie afin de trouver la dimension de la conduite  $L$  :



**Figure III-2 :** détermination de la longueur  $L$  en fonction trigonométrie

Le calcul se détermine par la formule suivante :

$$\cos 60 = \frac{Hb}{L} \quad (III.8)$$

Alors

$$L = \frac{Hb}{\cos 60} = 16m$$

$$L_{\text{conduite}} = L - R \quad (III.9)$$

$R$  : Longueur coude

$$L_{\text{conduite}} = 16 - 2 = 14$$

D'après la formule de calcul de perte charge linéaire (III.6) :

$$H_{ll} = 1.32166^2 * \frac{14}{75^2 * 0.25^{4/3}}$$

$$H_{ll} = 0.02760525m$$

### III.5.3.7 La chute nette :

La chute nette  $H_n$  d'une installation hydraulique, c'est la dénivellation de l'aménagement, appelée aussi chute brute  $H_b$ , à laquelle on soustrait les pertes de charges des ouvrages d'aménée et de restitution.

Elle se calcule pratiquement en déduisant de la chute brute :

- 1- Les pertes de charge à l'amont et à l'aval de la turbine  $H_L$  ;
- 2- L'énergie cinétique résiduelle qui est perdue à la sortie de la turbine  $v^2/2g$ .

La chute nette c'est la chute brute moins les pertes comme expliqué ci-dessus et ce calcule la formule suivante :

$$H_n = H_b - \left( \sum \text{Pertes} \right) \quad (\text{III.10})$$

$$\text{avec } \sum HL = HL_s + HL_l \quad (\text{III.11})$$

$$\sum HL = 0.03184m \ll 8m \ll H_n$$

Alors Toutes les pertes presque sont négligeables.

### III.5.4 Puissance hydraulique :

La puissance hydraulique de l'installation est déterminée par le débit et la chute nette de l'installation et ce calcule par la formule suivante :

$$P_{hyd} = Q_t * g * \rho * H_n \quad (\text{III.12})$$

$P_{hyd}$  : puissance hydraulique(W)

$Q_t$  : débit turbiné ( $m^3/s$ )

$g$  : accélération due à la pesanteur ( $m/s^2$ )

$\rho$  : la masse volumique de l'eau ( $1000kg/m^3$ )

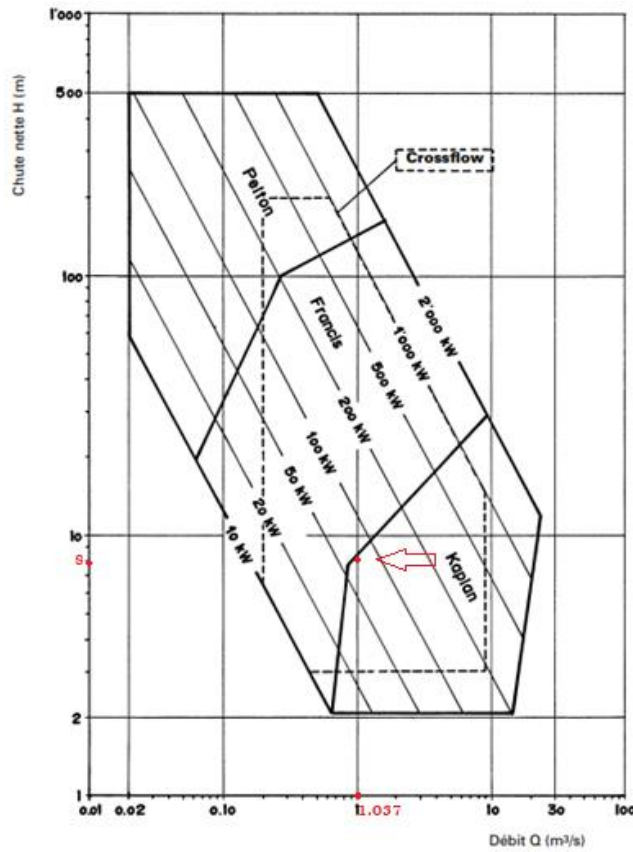
$H_n$  : la chute nette(m)

$$P_{hyd} = 81423W$$

### III.5.5 Critère de choix de la turbine de l'installation :

Pour le choix de la turbine, plusieurs critères doivent être suivi et parmi ces critères on s'intéresse aux chutes nettes, et le débit

Et grâce à ce diagramme représenté ci-dessous, le choix du type de turbine se fait en fonction du débit nominal  $Q_n$  et de la chute nette  $H_n$



**Figure III-3 :** Domaine d'utilisation des différents types de turbines (chutes nettes, débits, puissances) [26]

Et suite, au diagramme utilisé et qui représente les débits, les chutes et les puissances des turbines hydrauliques, on pouvait sélectionner le bon choix de la turbine relatif à nos paramètres de l'installation hydraulique. Et selon les données trouvées dans notre calcul, et par la trajection débit et chute ( $H_n=8m$ ,  $Q_t=1.0375m^3/s$ ) sur le digramme ci-dessus la sélection du choix du type de la turbine et donc la turbine : **Kaplan**

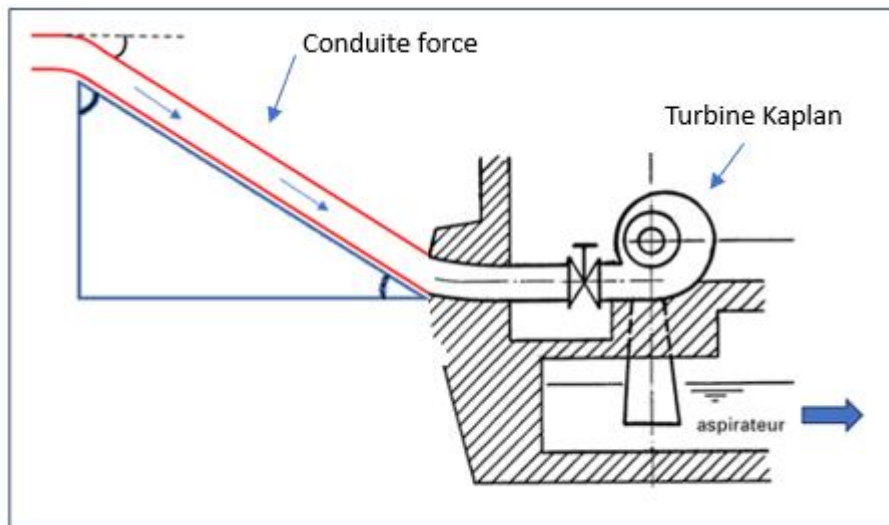




Figure III-4 : Image schématique de notre potentiel installation

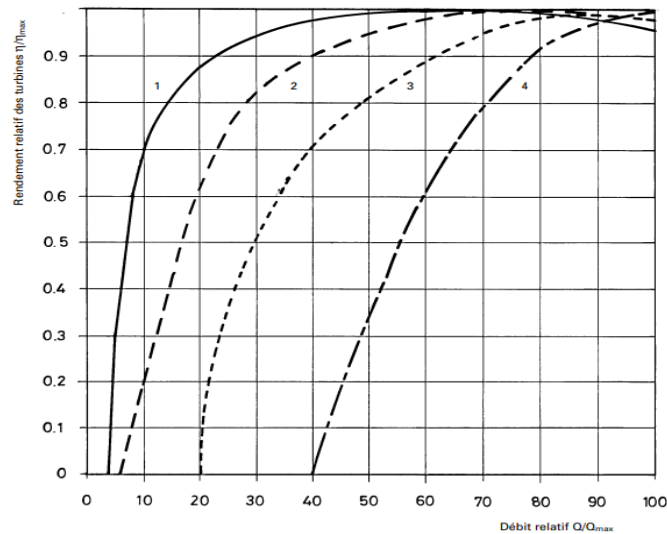


Figure III-5 : Forme des courbes de rendement de différentes turbines hydrauliques en fonction des débits variables [26]

**Ordre de grandeur des rendements maximum  $\eta_{max}$  :**

Courbe 1 : Turbine Pelton  $\eta_{max} = 84 - 90 \%$

Turbine Cross-flow à 2 cellules  $\eta_{max} = 78 - 84 \%$

Courbe 2 : Turbine Kaplan  $\eta_{max} = 84 - 90 \%$

Courbe 3 : Turbine Francis  $\eta_{max} = 84 - 90 \%$

Turbine Cross-flow à 1 cellule  $\eta_{max} = 78 - 84 \%$

Courbe 4 : Pompe inversée  $\eta_{max} = 75 - 90 \%$  [26]

On a :

$$Q/Q_{max} = 3735/5600 = 0.6669 = 66.69\%$$

Avec projection  $\eta/\eta_{max} = 0.99$

$\eta_{max} = 0.90$  (Courbe 2 Turbine Kaplan) parce que les pertes sont négligeables

$$\eta = 0.99 * \eta_{max} = 0.99 * 0.9 = 0.891$$

**III.5.6 La puissance mécanique :**

La connaissance du rendement de la turbine permet de calculer la puissance mécanique

$$\eta_t = \frac{P_{méc}}{P_{hyd}} \quad (III.13)$$

$$P_{méc} = \eta_t * P_{hyd} = 72547.893W$$

**III.5.7 Calcule de puissance électrique :**

C'est la puissance directement disponible aux bornes du générateur. Elle se calcule en introduisant le rendement du générateur.

La puissance électrique est exprimée par :  $P_{elec} = P_{hy} * \eta$  (rendement global =  $\eta = \eta_t * \eta_g$ )

| $P_{elec}(kW)$ | $\eta_{gmax}$ |
|----------------|---------------|
| 1 à 5          | 80%-85%       |
| 5 à 20         | 85%-90%       |
| 20 à 100       | 90%-95%       |
| >100           | 95%           |

**Tableau III-2 : Rendements des générateurs a charge totale [26]**

$$\eta_g = \frac{P_{elec}}{P_{mec}} \quad (III. 14)$$

$$P_{elec} = \eta_g * P_{mec}$$

$$\eta_g = 95\% = 0.95$$

$$P_{elec} = 68920.5W$$

NB : On remarque que  $20kW < 68.92kW < 100kW$  donc le choix de rendement est bon

**III.5.8 Calcule d'Energie annuelle :**

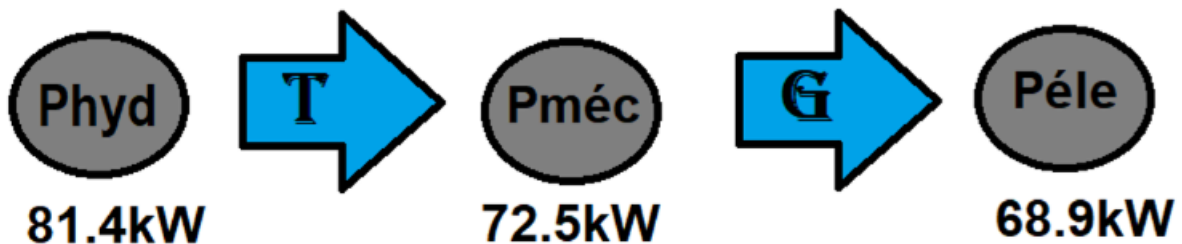
L'énergie annuelle de l'installation s'est exprimée par la puissance électrique  $P_{elec}$  \* le temps(t)

$$365 * 24 = 8760 \text{ heures/année}$$

$$E_{totale} = P_{elec} * t \quad (III. 15)$$

$$E_{totale} = 603743.580kWh/année$$

$$E_{totale} \approx 600 MWh/année$$



**Figure III-6 : Bilan des puissances**

## III.6 Étude Technico-Économique de la Centrale Hydroélectrique de la STEP Mostaganem

### III.6.1 Contexte et Objectifs :

- **Localisation** : La station d'épuration STEP Mazagran Mostaganem.
- **Objectifs** : Produire de l'énergie renouvelable (Energie hydraulique)

### III.6.2 Caractéristiques Techniques :

- **Type de centrale** : station d'épuration STEP.
- **Capacité installée** : 81.423 KW. En puissance hydraulique
- **Rendement** : 84 %.
- **Technologie** : Turbines Kaplan.

### III.6.3 Étude de la Ressource :

- **Analyse hydrologique** :
  - Débit moyen : 3735 m<sup>3</sup>/J (1.0375 m<sup>3</sup>/s)
  - Chute Nette : 8 m

### III.6.4 Coûts d'Investissement :

- **Total des coûts d'investissement** :

Les couts de l'installation du matériel et de l'étude ne sont pas disponibles dans notre étude pour donner le tarif global de l'investissement.

### III.6.5 Coûts d'Exploitation et de Maintenance :

- **Total des coûts annuels** :

Les couts annuels ne sont pas disponibles dans notre étude pour donner le cout global.

### III.6.6 Analyse Économique :

- **Coût de production** :

- Production annuelle estimée : = 600 MWh/an.
- Coût par KWh non disponible dû à la non disponibilité du cout d'investissement.

➤ **\*\*Revenus\*\*** :

Vu que la puissance électrique calculée est insuffisante pour d'alimenter des clients désirant une haute tension HTA (inferieur ou égale à 15000 KV), mais peut alimenter des clients désirant une basse tension (220V ou 380V triphasé) dont les tarifs de Sonelgaz sont décrits ci-dessous :

Prix de vente de l'électricité REF 54NM (Clients non ménages) :

1.7789 DA par kWh. (Tranche 1)

4.1798 DA par kWh. (Tranche 2)

4.8120 DA par kWh. (Tranche 3)

L'estimation est faite par la tranche 2

➤ **Revenus annuels :  $600\ 000\ \text{KWh} \times 4.1789 = 2\ 507\ 340\ \text{DA}$ .**

### **III.6.7 Conclusion :**

Vu que le coût de l'investissement de la centrale hydroélectrique de la STEP n'est pas disponible dans notre étude, la comparaison avec le coût de la production de l'installation n'est pas possible. Donc, on ne peut pas juger si cette installation hydroélectrique est bénéfique à l'entreprise et au service sociaux et environnementaux. Pour des résultats précis pour rendre la centrale hydroélectrique rentable, il est crucial de collaborer avec des ingénieurs, des économistes et des experts environnementaux.

## **Conclusion générale :**

Dans cette étude, on a fixé pour objectif d'analyser, de calculer et de récupérer l'énergie hydraulique résiduelle des eaux rejetées par la STEP de la ville de Mostaganem implantées exclusivement au côté Ouest / Nord de ville près de la mer où sera le rejet des eaux usées traitées, afin de faire le choix de type de la turbine.

L'énergie potentiellement récupérable par la centrale hydroélectrique relative au calcul est proportionnelle à la hauteur (chute), et au débit total d'eau rejetée.

Et suite à notre travail qui est consacré à l'évaluation et au calcul du potentiel hydroélectrique et au choix de la turbine dans l'installation de la centrale.

Dans le deuxième chapitre, nous avons cité les critères de choix de la turbine selon deux paramètres clés (le débit et la hauteur de chute) qui fait le choix suivant :

La turbine Kaplan est une turbine à réaction, elle est utilisée pour les hauteurs de chute entre 2 et 20m et grand débit. sa roue est une hélice, semblable à celle d'un bateau, dont elle est entièrement immergée dans l'eau. Le changement de l'orientation des pales de la roue assure le réglage de débit de la turbine. Cette turbine est le choix parfait pour la centrale hydraulique étudié par rapport aux critères de la STEP de la Salamandre.

Et, à partir du débit et la charge de rejet de la station d'épuration de la ville, ça nous montre que le turbinage des eaux usées offre un potentiel énergétique important et intéressant qui peut être utilisé sur d'autres stations d'épuration afin d'englober leurs énergies électriques et les transferts vers le réseau électrique.

Finalement, les turbines hydrauliques adaptées aux petites puissances pourraient rendre rentables des sites jusqu'à présent non considérés, et rendre la récupération d'énergie hydraulique des eaux usées plus courante. Dans le cadre de la transition énergétique, la production d'hydroélectricité sur la base des eaux usées offre ainsi un potentiel énergétique considérable, non seulement économique, mais aussi également en termes de la population en mettant en place une production locale, pratiquement sans impact sur l'environnement.

## Références :

- [1] : Grosclaude, « L'eau : usage et polluant », Tome II 4<sup>ème</sup> Edition. INRA, Paris.
- [2] : N. TARIQ : « Pollution de l'eau », Conférence internationale Paris. Vol 10, page 17-20, 1974.
- [3] : SATIN, M, SELMI, B., « Guide technique de l'assainissement », 3<sup>ème</sup> édition le moniteur référence technique, Paris, page 726.
- [4] : Docteur Seyf Eddine Merzoug, « Chapitre 6 : La Station d'épuration », Centre universitaire de Mila.
- [5] : Direction des Systèmes d'Informations (2020), « Présentation de la wilaya », Situation géographique et démographique.
- [6] : Khoudmi Fatima, « Impact environnemental de la station d'épuration des eaux usées urbaines de Salamandre-Mostaganem. », Mémoire de Master, UNIVERSITE ABDEL-HAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM, 2020.
- [7] : Journal réflexion. Octobre 2016, Mostaganem.
- [8] : LAKHAL Houria, SEBBANE Abdelkrim, « Suivi des paramètres de pollution des eaux usées brutes et épurées au niveau de la STEP de Mostaganem », Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
- [9] : Syndicat des énergies renouvelables, « L'hydroélectricité : les chiffres en France et dans le monde », ENR fr.
- [10] : The Energy Institute Statistical Review of World Energy™ 2023.
- [11] : Dr Tanushree Kain, « Les avantages et les inconvénients de l'énergie hydroélectrique », Sigmaearth.
- [12] : Guilhem Dellinger, « Etude expérimentale et optimisation des performances hydrauliques », Université de Strasbourg, 2015.
- [13] : <https://tdcc.fr/fonctionnement-et-caracteristiques.html> consulté le 16 juin 2024.
- [14] : Mohamed Nasser, « Supervision de sources de production d'électricité hybrides éolien/hydraulique dans les réseaux d'énergie interconnectés ou isolés. », thèse de doctorat à l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2011.
- [15] : TNA Report, « Evaluation des besoins en technologies et plans d'actions technologiques pour l'atténuation des changements Climatiques – MALI », Fiche de la Technologie de centrale hydraulique, Document en ligne.
- [16] : [www.sirenergies.com/article/fonctionnement-turbine-hydraulique](http://www.sirenergies.com/article/fonctionnement-turbine-hydraulique) consulté le 15 mai 2024.
- [17] : J.-M. Chapallaz, ingénieur EPFL/SIA, « Turbines hydrauliques », J. Graf, ingénieur ETS, Office fédéral des questions conjoncturelles.
- [18] : Dr. Hoggas B., « Chapitre 5 : Les turbines hydrauliques », Université Batna.
- [19] : ENR811 Ingénierie hydraulique, « Rôle hydraulique des composantes de la turbine », Michel Sabourin 2021.

- [20] : [Secteur hydroélectrique | FAB 3R](#) consulté le 15 mai 2024.
- [21] : [Alternateurs hydrauliques | JEUMONT Electric](#) consulté le 15 mai 2024.
- [22] : [untitled \(gunt.de\)](#) consulté le 15 mai 2024.
- [23] : Pacer : « Petites centrales hydrauliques (Turbines hydrauliques) », Revue-1995, page 134.
- [24] : Cécile Bousquet, « Turbinage des eaux usées : Une évaluation du potentiel de turbinage sur les systèmes d'eaux usées en Suisse », Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et e-dric.ch.
- [25] : Michel Grout : « INSTRUMENTATION Formulaire et guide pratique Deuxième revue et corrigée », ÉDITION KIRK, 79p
- [26] : Le Programme d'action énergies renouvelables (PACER) de l'Office fédéral des questions conjoncturelles (1995) Turbines hydrauliques, 129p.