

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
**UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU**  
*Faculté du génie de la construction*  
*Département de génie mécanique*



*Mémoire de Master*

*En vue de l'Obtention du Diplôme*  
*Master Académique*  
*En Génie Mécanique*  
*Option : Energétique*

## **THÈME**

***Conception et réalisation d'un banc  
d'essais d'une micro turbine  
hydraulique.***

*Réalisé par :*

*Mr : BELKAHLA FARID*

*Mr : BENAMARA CHERIF*

*Mr: DERROUCHE NACER*

*Proposé et dirigé par :*

*Mr: ZOUAOUI SALAH*

*Meme: IGUERCHA AMINA*

***Promotion 2018/2019***

# REMERCIEMENTS

Nous tenant à exprimer toute notre reconnaissance à notre promoteur de mémoire **Mr S.ZOUAOUI** et notre Co-promotrice **Mme A.IGUERCHA**, on les remercie de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

On adresse nos sincères remerciements à **Mr B.FERHAT** et **Mr D.KARI** qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant nos recherches.

Nous tenons à témoigner toute notre gratitude aux membres du jury, **Mr S.BOUTOUDJ** et **Mr H.TEBBICHE** qui nous ont fait l'honneur et la gentillesse de bien vouloir juger notre travail.

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

## Dédicace

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi, « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».

À mes encadreurs Mr S.ZOUAOUI et Mme A.IGUERCHA, que je remercie infiniment pour leur précieux temps et conseils.

Je remercie mon frère, et mes deux sœurs pour leur encouragement. Je les remercie très spécialement d'avoir toujours été là pour moi. Je remercie tous mes amis pour leur présence, leur écoute, leur confiance en moi et leur soutien constant m'assurent des bases solides me permettant de persévérer et de me surpasser.

A toute ma famille qui m'a soutenu tout au long de mon parcours universitaire,  
Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien  
infaillible,

Merci d'être toujours là pour moi.

**FARID**

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail A mes parents qui m'ont soutenu et encouragé durant toutes mes années d'études Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance, Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier.

À mes encadreurs Mr S.ZOUAOUI et Mme A.IGUERCHA, que je remercie infiniment pour leur précieux temps et conseils.

A mon grand frère Samir qui a partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail et à mes deux sœurs pour leur présence, leur écoute, leur confiance en moi et leur soutien constant.

A ma grand-mère qui m'a chaleureusement supportée et encouragée tout au long de mon parcours

A tous mes amis à qui je souhaite beaucoup de succès.

**CHERIF**

# Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, mes deux frères et mes quatre sœur qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, et qui m'ont soutenue et encourager le long de mon parcours universitaire.

À mes encadreurs Mr **S.ZOUAOUI** et Mme **A.IGUERCHA**, que je remercie infiniment pour leur précieux temps et conseils.

À tous mes amis et proches, qui m'ont apporté leur soutien pour l'accomplissement de ce travail.

**NACER**

# TABLE DES MATIERES

**LISTE DES TABLEAUX**  
**LISTE DES FIGURES**  
**NOMENCLATURE**

<b>Introduction Générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : L'hydroélectricité et les centrales hydroélectrique .....</b>	<b>3</b>
Introduction.....	4
I.1 Grandeurs caractéristiques d'une centrale hydroélectrique.....	4
I.2 Classification des centrales hydroélectriques .....	5
I.3 La petite hydroélectricité.....	6
I.3.1 L'ouvrage de prise d'eau.....	7
I.3.2 L'ouvrage d'amenée et de mise en charge.....	7
I.3.3 La turbine hydraulique .....	8
I.3.4 Problèmes que rencontrent les turbines hydrauliques .....	10
I.3.5 Equipements électromécaniques .....	11
I.3.6 L'ouvrage de restitution .....	13
I.4 Utilisation de l'hydroélectricité dans le stockage des énergies propres à intermittence .....	13
I.5 Avantages et inconvénients de l'hydroélectricité.....	14
I.5.1 Avantages.....	14
I.5.2 Inconvénients .....	15
I.6 Difficultés de la petite hydroélectricité .....	15
I.6.1 Difficultés technico-économiques et financières .....	15
I.6.2 Difficultés environnementales .....	15
I.7 Récupération dans l'industrie .....	15
I.8 Récupération du potentiel hydroélectrique.....	16
Conclusion .....	16
<b>Chapitre II : Evaluation du potentiel hydroélectrique du site et choix de la turbine .....</b>	<b>17</b>
Introduction.....	18
II.1 Evaluation du potentiel hydroélectrique .....	18
II.1.1 Description de la station de production de l'eau potable Koudiet Acerdoune .....	18
II.1.2 La distribution de l'eau potable .....	19
II.1.3 Description du robinet à disque motorisé (brise charge).....	20
II.1.4 Caractérisation des forces agissantes sur un écoulement dans une conduite.....	22
a- Les forces de surface .....	22
b- Les forces de volumes .....	23
c- Importance des différentes forces.....	24
II.1.5 La Chute .....	25
II.1.5.1 La hauteur brute $H_b$ .....	25
II.1.5.2 Les pertes de charges .....	26
II.1.5.3 La hauteur nette $H_n$ .....	29
II.1.5.4 La puissance hydraulique.....	30
II.1.6 Calcule des pertes charges totales et de la hauteur nette de la centrale étudiée .....	31

II.2 Sélection du type de turbine à utiliser pour le site étudié.....	34
II.2.1 Le but du projet.....	34
II.2.2 Description et principe de fonctionnement.....	35
II.2.3 Critère de choix de la turbine.....	36
II.2.4 Avantages et inconvénients de la turbine choisit.....	36
II.2.4.1 Avantages.....	37
II.2.4.2 inconvénients .....	37
Conclusion .....	37
<b>Chapitre III : Dimensionnement de la turbine.....</b>	<b>38</b>
Introduction.....	39
III.1 Équation gouvernante .....	39
III.2 Diamètre optimal d'une turbine hydraulique à réaction simple .....	42
III.3 La vitesse sans interférence du rotor.....	43
III.4 Définition de la géométrie de la turbine.....	45
III.4.1 diamètre de la turbine .....	45
a- Le coefficient de perte par frottement du fluide (k) .....	45
b- L'Effet de la hauteur manométrique sur le débit massique.....	47
c- La vitesse de rotation de la turbine.....	48
III.4.2 La hauteur du rotor de la turbine .....	51
III.4.3 Triangle des vitesses.....	52
a- calcule de la vitesse relative $V_r$ .....	52
b- Calcule de la surface des buses .....	53
c- La vitesse tangentielle $U$ .....	54
d- La vitesse absolue $V_a$ .....	54
e- Vérification de la correspondance de la géométrie de la turbine avec les dimensions de brise charge.....	54
f- Vérification de la condition d'interférence du rotor et le jet d'eau avec les données réelles .....	55
III.5.1 Le couple produit par la turbine .....	55
III.5.2 La puissance mécanique ou puissance de sortie.....	55
III.5.3 Puissance hydraulique $Phyd$ .....	56
III.5.4 Le rendement de turbine.....	56
Conclusion .....	58
<b>Chapitre IV : Réalisation du banc d'essai .....</b>	<b>59</b>
Introduction.....	60
IV.1 Similitude.....	60
IV.1.1 La vitesse spécifique $N_s$ .....	60
IV.1.2 La similitude géométrique.....	61
a- La vitesse d'écoulement d'eau dans la maquette $V_m$ .....	61
b- débit de fluide dans la maquette .....	62
IV. 2 Description du logiciel SolidWorks.....	63
IV .3 Présentation générale du banc d'essai .....	64
IV.3.1 Description .....	64
IV. 3.2 Différentes pièces constituante le banc d'essai .....	64

IV.3. 3 Conception avec SolidWorks .....	64
IV.3.4 Réalisation du banc d'essai sur le plan réel .....	66
IV.4 Réalisation de la turbine .....	67
IV.4.2 Fabrication et Procédés d'usinage .....	67
a- Tournage .....	68
c-Perçage.....	70
IV.4.3 Étapes de réalisation de la turbine.....	71
IV.5 Montage de la turbine sur le banc d'essai.....	74
IV.5.1 Montage de roulement sur la turbine .....	75
IV.5.2 Installation de la génératrice et des instruments de mesure .....	76
IV.6 Les essais effectués sur la maquette .....	78
Conclusion .....	80
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>82</b>

## **BIBLIOGRAPHIE**

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1. 1 :</b> classification des centrales hydroélectriques en fonction de la puissance électrique générée [5] .....	6
<b>Tableau 1. 2 :</b> Domaine d'application des turbines standards [8].....	9
<b>Tableau.2.1 :</b> Coefficients de rugosité selon Strickler [14].....	20
<b>Tableau.2.2.</b> Résultats des tests effectués sur le premier robinet.....	31
<b>Tableau.2.3.</b> Résultats des tests effectués sur le deuxième robinet.....	31
<b>Tableau.2.4.</b> Les Valeurs numériques calculé.....	33
<b>Tableau.4.1.</b> Résultats obtenus dans les essais.....	79

## Liste des figures

<b>Figure 1. 1</b> : Classification des centrales Hydroélectriques en fonction De la hauteur de chute [4].....	6
<b>Figure 1. 2</b> : Caractéristiques d'une grille de protection [3].....	8
<b>Figure 1. 3</b> : Différentes parties touchées par le phénomène de cavitation dans une turbine. ....	10
<b>Figure 1. 4</b> : Stockage de l'énergie solaire et éolienne au moyen de stations pompage-turbinage.....	13
<b>Figure.2.1.</b> Photo satellite du site de la centrale de traitement des eaux Koudiet Acerdoune [1]...	19
<b>Figure.2.2.</b> Les deux brises charge de la station Koudiet Acerdoune.....	20
<b>Figure.2.3.</b> Robinet a disque motorisé [12].....	21
<b>Figure.2.4.</b> Schéma d'une régulation type [12].....	21
<b>Figure.2.5.</b> Les régimes dans une conduite convergente-divergente [13].....	23
<b>Figure.2.6</b> : Schéma d'un petit aménagement hydroélectrique [14].....	26
<b>Figure 2.7.</b> Calcul du rayon hydraulique pour une section rectangulaire et circulaire [14]... ..	28
<b>Figure 2.8:</b> hauteur nette en fonction du débit turbiné – Exemple [14]... ..	30
<b>Figure.2.9.</b> Variation des valeurs des pertes charges par rapport au débit.....	34
<b>Figure.2.10.</b> Un arroseur a gazons (turbine à réaction simple)[15].....	35
<b>Figure.2.11.</b> Dessin de la turbine à réaction simple[15].....	36
<b>Figure.3.1.</b> Schéma du rotor avec des vitesses [16].....	41
<b>Figure. 3.2.</b> Le diamètre optimal de la turbine en fonction de la vitesse de rotation pour différentes hauteurs et de facteur de frottement de fluide [15].....	43
<b>Figure .3.3.</b> Interférence du rotor et le jet [16].....	44
<b>Figure.3. 4.</b> Diagramme de facteur (K) en fonction de (Q).....	47
<b>Figure .3.5.</b> Diagramme de la hauteur nette $H_{NET}$ en fonction de débit massique.....	48
<b>Figure.3. 6.</b> Diagramme montre la variation de diamètre de rotor en fonction de la vitesse de rotation de la turbine.....	49
<b>Figure.3. 7.</b> Plan de brise charge [12].....	50
<b>Figure .3.8.</b> Variation du diamètre de la turbine avec la hauteur de la chute [15].....	52
<b>Figure .3.9</b> : Forme des courbes de rendement de différentes turbines pour des débits variables [14].....	57
<b>Figure.4.1.</b> Fixation de la conduite sur la pompe.....	65
<b>Figure.4.2.</b> Assemblage du bassin.....	65
<b>Figure.4.3.</b> la pompe et les conduites utilisées.....	66
<b>Figure.4.4.</b> photo de l'installation du banc d'essai.....	66
<b>Figure.4.5.</b> Dessin de la turbine avec SolidWorks.....	67
<b>Figure.4.6.</b> Tour parallèle qu'on a utilisé.....	68

<b>Figure.4.7.</b> Fraiseuse universelle qu'on a utilisée.....	69
<b>Figure.4.8.</b> Perceuse à colonne qu'on a utilisée.....	70
<b>Figure.4.9.</b> Photo de l'étape de dressage.....	71
<b>Figure.4.10.</b> image de l'étape de chariotage.....	72
<b>Figure.4.11.</b> image sur coupage.....	72
<b>Figure.4.12.</b> Image de perçage avec le tour mécanique.....	73
<b>Figure.4.13.</b> Images des pièces constituantes de la turbine.....	73
<b>Figure.4.14.</b> Assemblage de la turbine.....	74
<b>Figure.4.15.</b> Pièces nécessaire pour le montage de la turbine.....	74
<b>Figure.4.16.</b> Coupe verticale de l'assemblage de la turbine.....	75
<b>Figure.4.17.</b> Montage de roulement dans la turbine avec la presse.....	76
<b>Figure.4.18.</b> Pièces pour accouplement de la turbine sur la génératrice.....	77
<b>Figure.4.19.</b> Installation de la génératrice.....	77
<b>Figure.4.20.</b> Ampèremètre et voltmètre et régulateur de fréquence utilise .....	77
<b>Figure.4.21.</b> La vitesse de rotation de la turbine entraînée par le débit commandé dans les essais.....	79
<b>Figure.4.22.</b> La puissance électrique délivrée par la turbine par-rapport à sa vitesse de rotation.....	80

# NOMENCLATURE

## Symbole

<b>U</b>	Vitesse tangentielle	m/s
<b>V<sub>r</sub></b>	Vitesse relative	m/s
<b>V<sub>a</sub></b>	Vitesse absolue	m/s
<b>R</b>	Rayon de la turbine	m
<b>ω</b>	Vitesse angulaire	rad/s
<b>N</b>	Vitesse de rotation nominale	tr/min
<b>H<sub>c</sub></b>	Hauteur centrifuge	m
<b>H</b>	Hauteur de chute	m
<b>g</b>	Constante de gravitation	m/s <sup>2</sup>
<b>ṁ</b>	Débit massique	kg/s
<b>ρ</b>	Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>
<b>T</b>	Couple produit par la turbine	N.m
<b>Ẃ</b>	Puissance mécanique	W
<b>k</b>	Coefficient de frottement	(s u)
<b>ξ</b>	Facteur de capacité	
<b>η</b>	Rendement	%
<b>μ</b>	Viscosité	Pa.s
<b>t<sub>cb</sub></b>	Temps entre points C et B	s
<b>t<sub>ab</sub></b>	Temps entre points A et B	s
<b>CÔB</b>	Angle	0
<b>α</b>	Angle	0
<b>β</b>	Angle	0
<b>δ</b>	Largeur	m
<b>OB</b>	Distance	m
<b>OA</b>	Distance	m
<b>Q</b>	Débit volumique	m <sup>3</sup> /s
<b>Q<sub>t</sub></b>	Débit turbiné	m <sup>3</sup> /s

<b>D<sub>opt</sub></b>	Diamètre optimale de la turbine	m
<b>D<sub>bc</sub></b>	Diamètre de brise charge	m
<b>D<sub>c</sub></b>	Diamètre de la conduite	m
<b>ε<sub>cd</sub></b>	Coefficient de perte de charge linéaire	
<b>ε<sub>cv</sub></b>	Coefficient de perte de charge singulière	
<b>P<sub>hyd</sub></b>	Puissance hydraulique	W
<b>h</b>	Hauteur de rotor	m
<b>N<sub>s</sub></b>	Vitesse spécifique	
<b>Re</b>	Nombre de REYNOLDS	
<b>V<sub>m</sub></b>	Vitesse de l'écoulement d'eau dans la maquette	m/s
<b>V<sub>p</sub></b>	Vitesse de l'écoulement de l'eau dans le prototype	m/s
<b>S<sub>m</sub></b>	Section de la conduite de la maquette	m <sup>2</sup>
<b>S<sub>p</sub></b>	Section de la conduite de prototype	m <sup>2</sup>
<b>Q<sub>m</sub></b>	Débit volumique dans la maquette	m <sup>3</sup> /s
<b>Q<sub>p</sub></b>	Débit volumique de prototype	m <sup>3</sup> /s
<b>K<sub>L</sub></b>	Coefficient de similitude géométrique	(s u)
<b>L<sub>m</sub></b>	Langueur sur la maquette	m
<b>L<sub>p</sub></b>	Langueur sur le prototype	m
<b>A</b>	Surface	m <sup>2</sup>
<b>F<sub>a</sub></b>	Force d'accélération pure	N
<b>t</b>	Temps	s
<b>H<sub>b</sub></b>	Hauteur brute	m
<b>H<sub>LS</sub></b>	Pertes de charge linéaire	m
<b>H<sub>Lf</sub></b>	Pertes de charge singulière	m
<b>L</b>	Langueur	m
<b>a</b>	Accélération du fluide	m/s <sup>2</sup>
<b>p</b>	Pression	Pa
<b>τ</b>	Force de frottement par unité de surface	N.m <sup>2</sup>
<b>m</b>	Masse	Kg
<b>P<sub>i</sub></b>	Puissance effective	W

<b>P<sub>b</sub></b>	Puissance de l'installation	W
<b>F</b>	Force	N
<b>V</b>	Volume	m <sup>3</sup>
<b>f</b>	Fréquence	Hz
<b>I</b>	Courant	A
<b>U</b>	Tension	V
<b>H<sub>T</sub></b>	Perte de charges totales	m
<b>H<sub>n</sub></b>	Hauteur nette	m

# **Introduction générale**

## Introduction Générale

L'hydroélectricité est une forme d'énergie renouvelable qui couvre 19% de la consommation électrique mondiale, que ce soit à travers les grandes centrales hydroélectriques ou les petites. On notera que le Brésil, les Etats Unis, le Canada et la Norvège produisent de grandes quantités d'électricité avec de très grandes installations hydroélectriques. Néanmoins, il faut savoir que de nombreuses régions du monde utilisent la petite hydroélectricité pour répondre à leur besoin en électricité. On prendra l'exemple de la Chine qui, bien qu'elle détienne la plus grande centrale hydroélectrique au monde, installée sur le barrage des trois gorges, produit plus de 19 000 MW d'électricité par le biais de 43 000 petites centrales. Le plus grand handicap de la grande hydroélectricité est que les sites exploitables ne sont disponibles qu'à certains endroits de la planète et que leur aménagement passe par la construction de grands barrages qui nécessitent d'inonder de vastes zones et donc de déraciner des populations le plus souvent très attachées à leurs terres. C'est ainsi que lors de la construction du barrage des Trois Gorges, plus de 1.1 million de personnes ont été déplacées. D'une façon plus générale, on estime aujourd'hui le nombre de personnes ayant dû être déplacées à cause de l'hydroélectricité entre 30 et 60 millions [1,2]. Cet épineux problème de la grande hydroélectricité ne concerne cependant aucunement la petite hydroélectricité qui jouit, au contraire, d'un intérêt prioritaire dans la recherche d'alternatives aux énergies fossiles, et occupe de ce fait une position de premier ordre dans le bouquet du mix énergétique de nombreux pays à travers le monde.

Parmi les énergies renouvelables, la filière de la petite hydroélectricité est considérée comme l'une des plus intéressantes en raison de sa nature respectueuse de l'environnement et de son potentiel important disponible à travers le monde entier. Le stockage éventuel de cette forme d'énergie ne produit pas de gaz à effet de serre, contrairement aux énergies fossiles ou à la biomasse par exemple. De plus, étant donné qu'elle n'a recours à aucune combustion, son exploitation n'émet pas de polluants dans l'atmosphère. D'autre part, les petites centrales hydroélectriques permettent la production autonome de quantités d'énergie électrique capables de répondre aux besoins des utilisateurs individuels à partir des cours des rivières. On notera aussi, qu'avec l'évolution des techniques d'exploitation de l'énergie hydraulique (divers types de turbines et d'installations), nous sommes aujourd'hui en mesure d'exploiter les cours d'eau les plus minimes et de récupérer de l'énergie électrique jusque sur les réseaux d'eau potable et les eaux industrielles.

Dans la région de Lakhdaria, RAZEL-BEC a réalisé sur l'oued Isser un barrage de type poids en béton compacté au rouleau (BCR) appuyé sur une fondation rocheuse constituée de schistes marneux. Ce barrage alimente en eau potable 800 000 habitants (volume annuel : 101 Mm<sup>3</sup>) et assure l'irrigation des terres agricoles de la Mitidja-Est et du Bas-Isser (volume annuel : 69 Mm<sup>3</sup>). D'une hauteur de 121 mètres, démarré en pied sur une largeur de 134 mètres, le barrage arrive en crête avec une largeur de 8 mètres sur une longueur de 490 mètres. Volume total du béton : 1 850 000 m<sup>3</sup> dont 1 500 000 m<sup>3</sup> de BCR et 350 000 m<sup>3</sup> de

béton conventionnel. C'est l'un des plus hauts barrages réalisés en BCR (béton à compacité au rouleau), il possède une Installations impressionnantes.

Des station de pompage et de traitement des eaux de l'oued sont nécessaire au traitement des alluvions, deux stations de traitement des alluvions de l'oued, dont la station pour le BCR (capacité : 1 000 t/h de matériaux élaborés avec deux lignes de production en parallèle), deux centrales à béton dont la centrale continue pour le BCR (capacité : 450 m<sup>3</sup>/h), une central de production de filler de 40 t/h, une centrale de fabrication d'électricité nécessaire au fonctionnement du chantier d'une puissance de 11 000 kW.

La station de traitement des eaux Koudiet Acerdoune qui se situe dans la ville de Djebahia dans la wilaya de Bouira est alimentée depuis ce barrage afin de recevoir des quantités d'eau nécessaire afin de les traiter et par la suite les distribuer pour la consommation. L'eau qui arrive avec une grande force nécessite des brises charges pour diminuer la charge de l'eau qui arrive dans la centrale afin de l'introduire dans des bassins.

Les brises charges possèdent un potentiel hydroélectrique important et c'est précisément cette partie de l'énergie qui constitue le potentiel hydroélectrique visé par la présente étude.

L'objectif de ce travail est de la conception et la réalisation d'un banc d'essai constitué d'une turbine pour étudier la possibilité de récupérer l'énergie hydraulique perdue dans la station de traitement, et la transformer en énergie électrique, afin de minimiser les couts de la consommation d'électricité par la station.

Ce mémoire est scindé en quatre chapitres:

Le chapitre 1 sera consacré à la présentation des caractéristiques de la filière de l'hydroélectricité.

Au chapitre 2 on évaluera le potentiel hydroélectrique de la centrale de traitement des eaux de Koudiet Acerdoune et des brises charges qui se trouvent à l'intérieure. On sélectionnera le type de turbine sur la base de la hauteur de chute et du débit disponibles aussi la rentabilité de ce projet pour la station. Nous présenterons ce type de turbine dans ce chapitre.

Le dimensionnement de la turbine fera l'objet du chapitre 3.

Le chapitre 4 est dédié à la conception et la réalisation du banc d'essai, ensuite la conception et la réalisation de la turbine en utilisant les résultats du dimensionnement obtenu au chapitre 3, et la présentation des essais et des résultats obtenu.

# **Chapitre I : L'hydroélectricité et les centrales hydroélectrique**

### Introduction

La puissance hydraulique dépend principalement de la hauteur de chute  $H$  et du débit  $Q$ . Elle peut être récupérée dans le cours des rivières, les chutes d'eau et/ou au niveau des déversoirs des barrages et réservoirs d'eau au moyen d'une centrale hydroélectrique où elle sera transformée en énergie électrique. A des hauteurs élevées, l'eau aura stocké une énergie gravitationnelle qui peut être exploitée en utilisant des turbines hydrauliques. L'eau, dans sa chute, possède une énergie cinétique qui peut être convertie en énergie mécanique, cette dernière pouvant elle-même être convertie en énergie électrique.

### I.1 Grandeurs caractéristiques d'une centrale hydroélectrique

Les quatre grandeurs caractéristiques qui permettent d'évaluer l'importance d'une installation hydroélectrique sont :

**Le débit d'équipement ( $Q$ )** : il représente le débit maximum pouvant être turbiné par la centrale, autrement dit le débit maximum absorbé par toutes les turbines de l'installation lorsque ces dernières fonctionnent à pleine puissance.

**La hauteur de chute** : il faut distinguer la hauteur géométrique (dite également brute)  $H_g$  de la hauteur de chute nette  $H_n$ . Dans le cas d'une installation d'une turbine à réaction (Francis, Kaplan, hélice) la hauteur géométrique correspond à la différence d'altitude entre les plans d'eau dans l'ouvrage de retenue et le canal de fuite. La hauteur de chute nette quant à elle se déduit de la hauteur géométrique en tenant compte des pertes de charge hydraulique dans les ouvrages d'aménée et de restitution.

**La puissance de l'installation** : elle dépend du débit d'équipement et de la hauteur de chute. On distingue la puissance maximale brute qui représente la puissance potentielle de l'installation, et elle se calcule comme suit :

$$P_b = \rho g Q H_g \quad (1.1)$$

De la puissance installée qui exprime la puissance effective de l'aménagement, elle est définie par la formule suivante :

$$P_i = \rho g Q H_n \eta \quad (1.2)$$

$g$ : accélération de la pesanteur.

Les meilleures turbines hydrauliques peuvent avoir un rendement qui varie entre 80% et 90%, cette estimation diminue lorsque la taille de la turbine est réduite, on parlera donc d'un

rendement qui varie entre 70% et 80% pour des installations hydroélectriques de moins de 50kW.

En prenant en considération les pertes dans le multiplicateur de vitesse (boite à vitesse ou transmission par courroie si c'est nécessaire) et celle du générateur, on aura un rendement qui varie entre 60% et 80%.

Si l'on prend 70% comme une valeur type du rendement de tout le système,  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$  et  $\rho = 103 \text{ m}^3/\text{kg}$  l'expression (1.2) devient [3] :

$$P = 7QH \quad (1.3)$$

pour donner P, en kW.

**L'énergie électrique produite** : elle représente la capacité de production de la centrale hydroélectrique. Elle varie en fonction de la puissance installée et du régime d'alimentation des turbines en eau. Elle s'exprime par :

$$E = P_i t \xi \quad (1.4)$$

$P_i$  : puissance installée

t : la durée de fonctionnement de l'installation en heures.

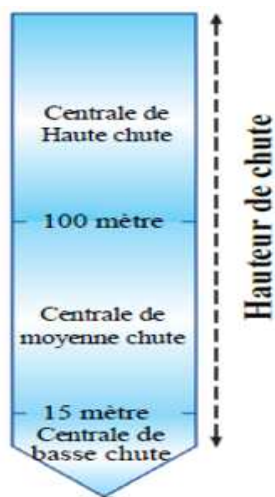
$\xi$  : facteur de capacité qui est un coefficient lié aux variations du débit d'alimentation des turbines

### I.2 Classification des centrales hydroélectriques

La classification des centrales hydroélectrique peut se faire suivant plusieurs facteurs. Dans un premier temps on peut les classer suivant la hauteur de chute. En centrales de haute chute, les centrales de moyenne chute et les centrales de basse chute. La puissance est dominée par le débit dans les centrales de basse chute, par la hauteur dans les centrales de haute chute et dépend à la fois de la hauteur et du débit dans les centrales de moyenne chute.

Une autre classification, généralement basée sur la puissance électrique produite par la centrale.

Une telle classification est fournie au **tableau 1.1**.



**Figure 1.1 :** Classification des centrales Hydroélectriques en fonction De la hauteur de chute [4].

Puissance électrique générée	Type de centrale hydroélectrique
<100 kW	Micro
100-1000 kW	Mini
1MW-10MW	Petite
10MW-300MW	Moyenne
>300MW	Grande

**Tableau 1.1 :** Classification des centrales hydroélectriques en fonction de la puissance électrique générée [5].

### I.3 La petite hydroélectricité

La centrale hydroélectrique est la manière la moins coûteuse de produire de l'électricité d'une façon propre. Dans le domaine de la petite hydroélectricité, l'énergie hydraulique peut provenir de différentes sources, parmi lesquelles on peut citer Les fleuves et les rivières.

- Les sources naturelles.
- Les réseaux d'approvisionnement en eau potable.
- Les réseaux d'évacuation d'eaux usées ou de drainage.
- Les procédés industriels dans lesquels la pression d'un liquide est détruite dans un organe de réglage, vanne ou autre.

Une petite centrale hydroélectrique comprend en général :

- Un ouvrage de prise d'eau.
- Un ouvrage d'aménée et de mise en charge.
- Des équipements de production.
- Un ouvrage de restitution.

### I.3.1 L'ouvrage de prise d'eau

Que ce soit sous forme de digue ou de barrage, le dimensionnement de ce dernier dépend principalement de la nature du terrain et de la conformation du lit du cours d'eau auquel il doit être adapté. Il n'est pas rare que dans certaines situations on n'ait nul besoin d'avoir recours à ce genre d'aménagement car on peut simplement tirer parti des faciès naturels de la zone. Dans le cas où la centrale hydroélectrique est utilisée pour la récupération des eaux industrielles, la prise d'eau peut être directement installée sur le canal d'irrigation ou sur une adduction d'eau potable.

### I.3.2 L'ouvrage d'aménée et de mise en charge

On désigne par ouvrage d'aménée, un canal d'aménée (en terre ou en béton) et une conduite forcée (en acier ou en polyéthylène) qui servent à diriger l'eau vers la centrale. Le canal se compose d'une grille qui retient les corps solides emportés par le courant. On peut aussi, afin d'obtenir une eau dépourvue de particules avant son entrée dans l'installation, munir le canal d'un dessableur.

On installe aussi dans l'ouvrage d'aménée un système de vannes afin d'assurer une protection contre les crues et l'isolement du canal et de la turbine. S'il s'agit d'une conduite en charge, on place une cheminée d'équilibre pour assurer la jonction avec la conduite forcée qui alimente la turbine en eau.

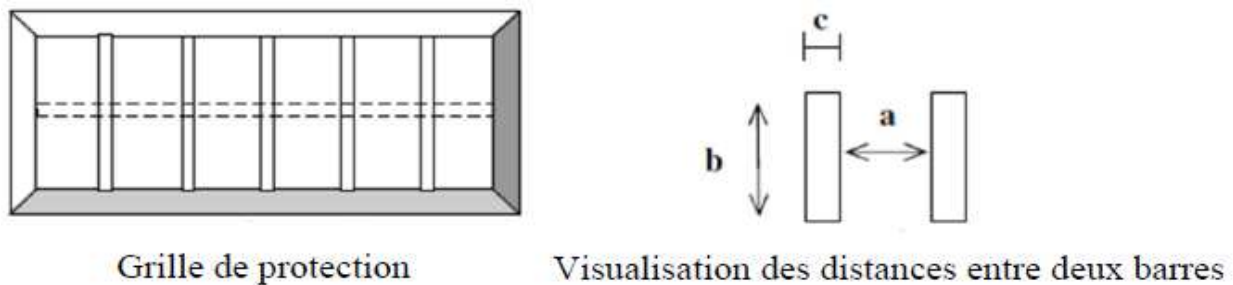
Dans le cas des petites centrales hydroélectriques, les conduites forcées sont réalisées avec des tuyaux standards faciles à trouver sur le marché qui sont aussi utilisés dans d'autres applications, comme les réseaux d'eaux potables et les systèmes de traitement des eaux usées. Le choix du matériau pour ce genre de conduites se fait en fonction de la hauteur de chute et du diamètre des tuyaux. Pour les faibles hauteurs (jusqu'à 10 ou 20 m) il est possible d'utiliser des tuyaux en plastique ou fibrociment. Pour des hauteurs allant jusqu'à 140m et des faibles diamètres (au plus 200 mm) l'utilisation du plastique, PVC, PE ou polyester est plus avantageux d'un point de vue économique et du fait que ces matériaux résistent mieux à la corrosion que d'autres. En ce qui concerne les hauteurs de fonctionnement qui dépassent les 140m de chute et des conditions de terrain difficiles, il n'y a pas d'autre choix que d'utiliser des conduites en fonte ou en acier [6].

Dans le but de préserver le paysage, les conduites forcées des petites centrales sont généralement enterrées.

Afin de garantir la stabilité des conduites forcées, il faut [7] :

- Installer un bloc d'ancrage à chaque changement de direction (horizontalement et verticalement).
- Supporter chaque section des conduites avec des blocs de support.
- Fixer les tuyaux aux supports avec des fixations en acier.
- Faire une étude de sol, de la pente et du matériau utilisé afin de réaliser une fondation solide et stable pour tous les blocs.
- Prévoir un bloc d'ancrage avant l'entrée des conduites dans le bâtiment de la centrale pour absorber la force dynamique de l'eau.
- Etablir l'entrée des conduites forcées à 20cm au-dessus du fond, et la profondeur de l'eau au-dessus de l'entrée doit être 4 fois supérieure aux diamètres des tuyaux.

La grille de protection constitue un élément de protection important contre l'afflux de matériaux solides pouvant endommager les turbines. Les grilles de protection se composent de barres longitudinales s'appuyant sur des barres transversales avec, dans certain cas, des poutres de renforcement transversales. La grille se situe généralement à l'entrée et peut être fixe ou mobile. Elle est caractérisée par la longueur de l'espace entre chaque barre (a), la longueur dans la direction du flux (b), l'épaisseur (c) et la section totale (S).



**Figure 1.2 :** Caractéristiques d'une grille de protection [3].

### 1.3.3 La turbine hydraulique

Elle se compose d'un distributeur fixe comprenant des organes de réglage permettant d'orienter et de maîtriser le flux d'eau entrant, d'une roue mobile portant des aubes, des pales ou des augets selon le type de turbine, d'un aspirateur-diffuseur qui évacue ce flux et d'un axe de transmission. La turbine a pour rôle de transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique avec un rendement maximum en s'adaptant aux différentes contraintes imposées par chaque site. Le choix de la meilleure turbine pour un site hydroélectrique particulier dépend des caractéristiques du site, notamment la hauteur de chute et le débit disponible. La sélection

## Chapitre I : L'hydroélectricité et les centrales hydroélectrique

dépend également de la vitesse de fonctionnement souhaitée du générateur ou de tout autre dispositif chargeant la turbine.

Il est souhaitable que la vitesse de rotation de la turbine soit la même que celle de la génératrice afin de minimiser les changements de vitesses entre les deux. Plus le changement de vitesse est important, plus la boîte de vitesses ou la transmission par courroie nécessaire à ce changement est coûteuse.

Les turbines à réaction exploitent le flux d'eau pour générer des forces de portance hydrodynamiques destinées à propulser les aubes. Elles se distinguent des turbines à impulsion par la présence d'une roue qui fonctionne toujours dans un boîtier complètement rempli d'eau.

Les types de turbines sont généralement caractérisés par la vitesse spécifique  $N_s$  fournie par les fabricants. Elle se réfère toujours au point d'efficacité maximale de la machine. Elle est généralement caractérisée par la formule suivante :

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{1.25}} \quad (1.5)$$

$P$  : puissance de la turbine ( $kW$ ).

$N$  : vitesse de rotation nominale ( $tr/min$ ).

$H$  : hauteur de chute nette ( $m$ ).

Le tableau ci-dessous montre un résumé du domaine d'application de certaines turbines en se basant sur la hauteur de chute ( $H$ ), le débit ( $Q$ ), la puissance ( $P$ ) et la vitesse spécifique ( $N_s$ ).

Turbine Hydraulique		H (m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(KW)	N <sub>s</sub>
<b>A réaction</b>	<u>Groupe Bulbe</u>	2-10	3-40	100-2500	200-450
	Kaplan et hélice flux axial.	2-10	3-50	50-5000	250-700
	Francis rapide (N <sub>s</sub> élevée)-flux diagonal	10-40	0.7-10	100-5000	100-250
	Francis lente (faible N <sub>s</sub> ) - flux radial	40-200	1-20	500-15000	30-100
<b>A impulsion</b>	Pelton	60-1000	0.2-5	200-15000	<30
	<u>Turgo</u>	30-200		100-6000	
	<u>Crossflow</u>	2-50	0.0-0.12	2-15	

**Tableau 1.2** : Domaine d'application des turbines standards [8].

### 1.3.4 Problèmes que rencontrent les turbines hydrauliques

Les principaux problèmes opératoires rencontrés par les turbines hydrauliques sont abordés dans ce qui suit.

#### La cavitation:

La cavitation se produit en raison de la formation de vides ou de bulles où la pression du liquide change rapidement et elle se produit principalement dans les turbines à réaction telles que les turbines Francis et Kaplan. Ce phénomène néfaste affecte la durée de vie de la turbine hydraulique. Dans la turbine Francis, la cavitation peut être détectée à quatre endroits : le bord d'attaque, le bord de fuite, le tourbillon de l'aspirateur et le vortex entre les aubes [9].

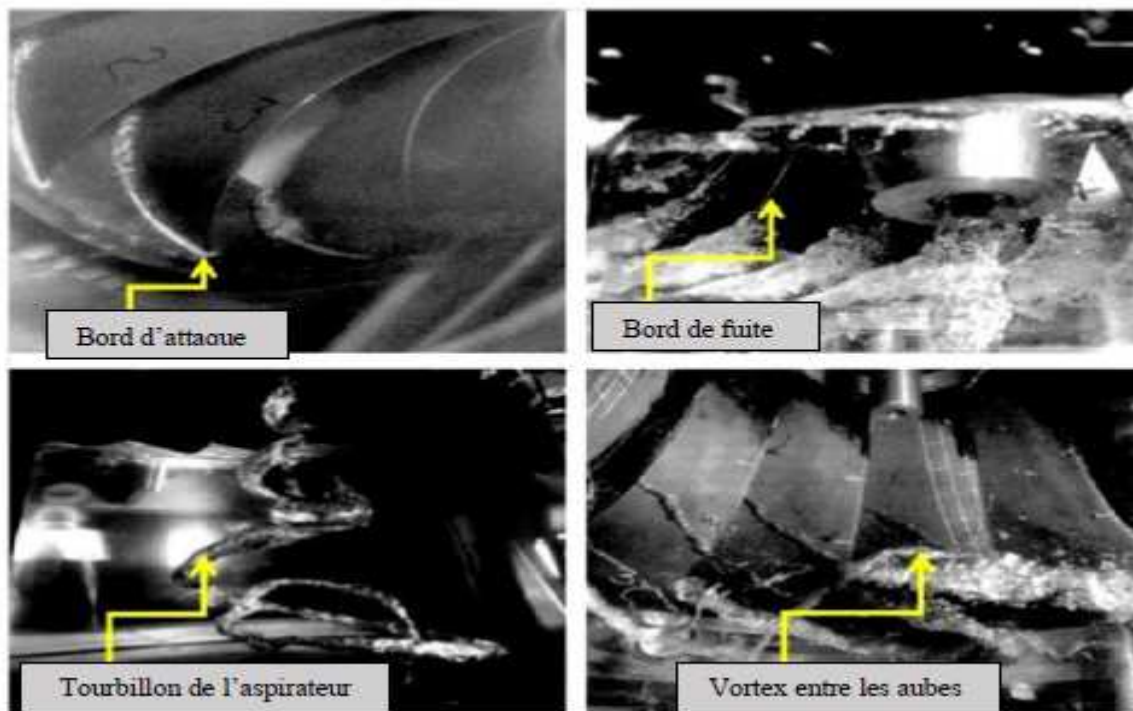


Figure 1. 3 : Différentes parties touchées par le phénomène de cavitation dans une turbine.

#### L'érosion :

Dans certaines régions du monde (Himalaya par exemple [9]), des projets hydroélectriques sont confrontés à des problèmes d'érosion du limon qui réduisent la production d'électricité. C'est un processus dans lequel le matériau est éliminé lentement et en continu de la surface des composants mécaniques. Le taux d'érosion dépend de la taille du limon, de la concentration, de la dureté, de la vitesse des particules en contact avec les composants et du matériau du composant.

### **La fatigue :**

La fatigue est un processus qui affaiblit le matériau en raison de contraintes cycliques répétées. C'est un problème qui peut devenir une cause de défaillance en cas d'assemblage de la turbine hydraulique avec un certain nombre de composants par le biais de joints de soudure. Les vibrations sont également une cause de déformation des composants et d'autres contraintes peuvent aboutir à une défaillance. L'action répétée des contraintes sur les composants peut provoquer plusieurs fissures en raison d'une corrosion inappropriée. La fatigue-corrosion est généralement due aux fuites d'eau à travers les joints utilisés dans l'assemblage de la turbine.

### **Défaut matériel :**

On constate que la défaillance maximale de la turbine hydraulique est due à la cavitation et à l'érosion du limon. Les défauts matériels dans les turbines et autres composants sont contrôlés au cours de la fabrication, mais au moment de l'installation, certains défauts peuvent également générer une défaillance de ces derniers. Il est nécessaire que la configuration de conception requise par les centrales hydroélectriques soit respectée lors de l'assemblage des composants. Les revêtements et joints de soudure redondants modifient les propriétés du métal, ce qui peut entraîner des défaillances matérielles.

### **1.3.5 Equipements électromécaniques**

**Les générateurs (alternateur) :** ils servent à produire l'énergie électrique à partir de l'énergie mécanique que fournit la turbine. Il existe essentiellement deux sortes de générateurs utilisés pour la production d'hydroélectricité, les générateurs synchrones ou à induction (asynchrones). On utilise généralement un alternateur synchrone pour les réseaux autonomes et une génératrice asynchrone pour les réseaux connectés lorsque les puissances sont inférieures à 1000 ou 2000 kW.

**Les transformateurs :** ce sont des appareils très divers par leur fonctionnement, mais aussi par leur taille et leur coût. Il existe deux types de transformateurs : les transformateurs de puissance et les transformateurs de mesure.

#### **Les transformateurs de puissance :**

Ils sont indispensables dans les installations qui doivent débiter sur un réseau de tension. Ils servent à élever la tension du générateur qui, généralement, fournit du courant électrique basse tension à 20 kV ou plus.

Les transformateurs peuvent être installés dans le bâtiment du groupe hydroélectrique, dans un abri annexe ou encore dans un parc grillagé en plein air. Les bobinages de ces appareils sont très souvent immergés dans une huile isolante.

La température, le dégagement gazeux ainsi que la pression des transformateurs de puissance sont constamment contrôlés. En cas de défaillance, ils doivent pouvoir être mis à l'écart du réseau et du générateur. Pour des raisons de sécurité, leurs bornes doivent être isolées.

### **Les transformateurs de mesure :**

Contrairement aux transformateurs de puissance les transformateurs de mesure ne transmettent que des énergies très faibles destinées à des appareils de contrôle, de sécurité et de signalisation ou des appareils de comptage d'énergie. Ces transformateurs doivent être très précis.

Il n'est pas rare de rencontrer dans les petites centrales hydroélectriques des transformateurs d'isolement qui ont pour but d'alimenter des équipements d'automatisme.

**Système de régulation :** sa fonction est d'adapter les variations du débit d'eau suivant la demande des consommateurs dans le cas du réseau autonome, ou en utilisant au mieux l'eau disponible dans le cas du réseau interconnecté.

**Protection et sécurité des installations :** l'électronique moderne est utilisée pour le réglage et la surveillance des installations hydroélectriques. Au jour d'aujourd'hui, pratiquement toutes les phases de fonctionnement (démarrage et synchronisation avec le réseau, réglage du débit, arrêt en cas de défaillance du réseau...) sont automatisées, si bien que, quel que soit le mode de fonctionnement de la centrale elle fonctionne sans assistance.

Les constructeurs ont développé des moyens simples pour protéger machines et conduites en cas de panne du réseau électrique, tel que des ressorts ou des contrepoids qui assurent l'arrêt automatique de la turbine, et cela sans avoir recours à une source d'énergie d'appoint comme les batteries.

**Un bâtiment :** qui abrite toutes les installations de production et les tableaux de commande qui permettent un contrôle sur place ou un pilotage à distance.

**Une ligne d'évacuation :** qui a pour rôle de transporter le courant électrique produit, soit à un réseau isolé, ou bien à un réseau interconnecté.

### **I.3.6 L'ouvrage de restitution**

Les eaux turbinées sont évacuées au moyen d'un canal de fuite. Ce dernier est établi soit à l'air libre, soit, dans le cas de centrales souterraine, en galerie.

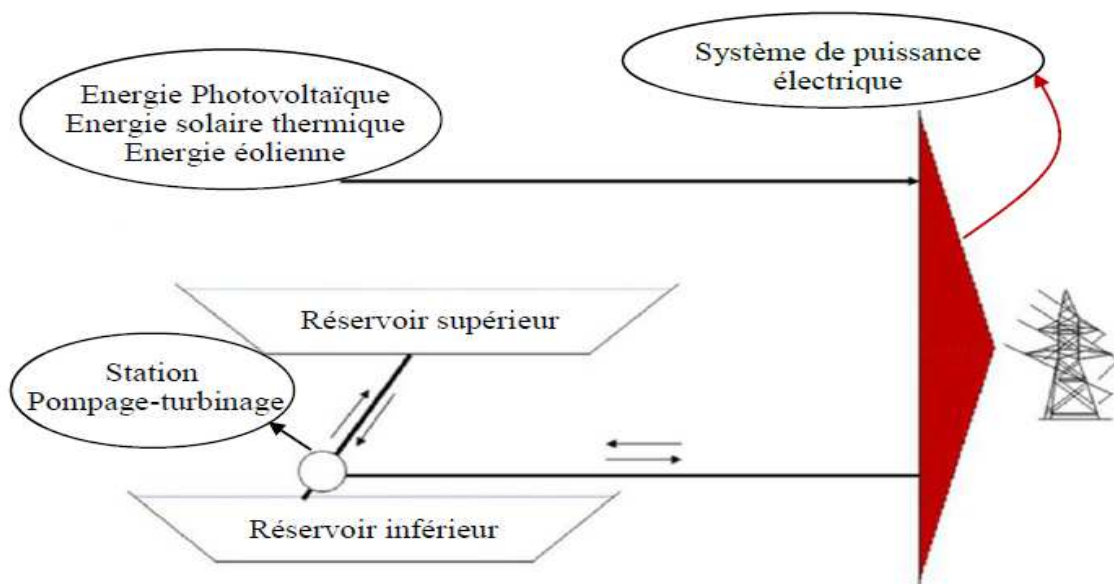
La longueur du canal de fuite varie suivant le type de l'aménagement.

### I.4 Utilisation de l'hydroélectricité dans le stockage des énergies propres à intermittence

En raison des changements météorologiques saisonniers, quotidiens et même horaires, le flux d'énergie provenant du vent et du soleil n'est ni constant ni fiable. En effet, les pics de production d'énergie des systèmes solaire et éolien ne coïncident pas toujours avec les moments des fortes demandes en puissance. Le caractère intermittent de ces deux ressources représente un gros handicap qui les rend insuffisantes pour garantir à elles seules l'autonomie énergétique des consommateurs. Pour pallier à cet inconvénient on leur associe généralement des systèmes hydroélectriques. L'énergie hydroélectrique peut servir de solution de secours instantanée pour répondre aux demandes les plus pressantes.

Dans ces systèmes où la ressource hydraulique est associée au solaire ou à l'éolien, l'énergie éolienne ou solaire peut être utilisée lorsque le vent souffle ou que le soleil brille pour préserver le potentiel hydroélectrique. Cela permettrait à ce potentiel d'être libéré ultérieurement pour répondre à la demande en période de pointe.

Une autre option d'association repose sur l'utilisation de stations de pompage/turbinage. Des pompes-turbines sont utilisées pour convertir en énergie hydraulique (qui se prête au stockage) l'excédent de production du système solaire ou éolien en période de pics pour la restituer en périodes de fortes demandes.



**Figure 1.4 :** Stockage de l'énergie solaire et éolienne au moyen de stations pompage-turbinage.

### I.5 Avantages et inconvénients de l'hydroélectricité

#### I.5.1 Avantages

- C'est une énergie renouvelable.
- Elle n'est sujette à aucune émission de gaz à effet de serre sauf pendant la construction des barrages.
- C'est une source d'énergie assez régulière.
- C'est une source d'énergie flexible, autrement dit, on peut réguler le débit d'eau et de ce fait la production d'électricité.
- Elle possède un très haut rendement (entre 70% et 90%), ce qui est de loin le meilleur de toutes les technologies énergétiques [10].
- Dans les centrales hydroélectriques, la puissance de sortie ne varie que progressivement de jour en jour et non pas de minute en minute.
- La puissance de sortie est maximale en hiver.
- Les centrales hydroélectriques permettent la production d'électricité à moindre coût (la production d'un kW à partir de l'hydroélectricité est moins cher comparé au thermique).
- La construction de centrales hydroélectriques permet la création d'emplois.

#### I.5.2 Inconvénients [11] :

- Les installations hydroélectriques peuvent avoir de graves conséquences sur les écosystèmes, notamment autour du barrage et des retenues d'eau. On notera que dans certains cas elles peuvent former un obstacle à la migration des poissons.
- La construction de ce genre d'installation est très coûteuse.
- Les installations hydroélectriques peuvent engendrer une augmentation de la sécheresse en aval du barrage.
- L'hydroélectricité ne peut être que dans des endroits limités (possibilité de construire des barrages et des retenues d'eau).
- La construction d'un barrage peut avoir pour conséquence le déplacement des résidents environnants.
- L'exploitation hydroélectrique peut avoir une incidence néfaste sur la qualité et le débit de l'eau. En effet, les centrales hydroélectriques peuvent causer une faible dissolution de l'oxygène dans l'eau ce qui nuit aux zones riveraines.
- Les centrales hydroélectriques peuvent être touchées par la sécheresse. Lorsque l'eau n'est pas disponible, elles sont dans l'incapacité de produire de l'électricité.

### 1.6 Difficultés de la petite hydroélectricité

#### 1.6.1 Difficultés technico-économiques et financières

- L'absence de la possibilité de rachat du *kWh* hydraulique par la Sonelgaz.
- L'importance des coûts d'investissement.
- Mauvaise étude du projet global (absence de calculs des pertes de charge dans certains cas).

#### 1.6.2 Difficultés environnementales

Dans certains cas, les aménagements hydroélectriques sont conçus avec pour objectif unique de produire sans trop se soucier du respect de l'environnement avoisinant. Cela peut donc engendrer des nuisances environnementales telles que des obstacles pour la faune piscicole, impacts sur la pêche de loisir et des nuisances sonores. Heureusement, il existe tout de même des solutions pour remédier à ces effets négatifs. Avec le recul et le retour d'expérience de plusieurs années d'exploitation des petites centrales hydroélectriques, nous sommes aujourd'hui en mesure de trouver des solutions efficaces pour pallier aux problèmes environnementaux que peut causer la petite hydroélectricité.

### 1.7 Récupération dans l'industrie

Les eaux industrielles et les installations de traitement des eaux usées sont des sources viables d'hydroélectricité en raison du volume élevé et du débit constant de l'eau qui découle de ces installations. Dans ces cas de figure, aucun barrage ou réservoir n'est requis. Ils existent deux façons d'exploiter le potentiel hydroélectrique dans les installations de traitements des eaux usées et des eaux industrielles. La première consiste à placer l'installation hydroélectrique à l'entrée de l'usine, dans le cas des eaux usées il faut aménager un bassin antérieur avec un bac à ordures. La centrale hydroélectrique doit être située aussi près que possible de l'usine ou de la station d'épuration afin de maximiser la hauteur de chute opérationnelle. La deuxième façon de faire est de placer la centrale à la sortie de l'usine. En effet, le flux sortant des installations industrielles et de traitements des eaux usées est généralement rejeté dans des cours d'eau naturels ou des canaux artificiels qui transportent l'eau vers le réseau hydrographique en aval. Ces systèmes acheminent l'eau par gravité, nous permettant ainsi d'extraire une énergie supplémentaire. Dans ce cas, la différence de hauteur peut être comprise entre 1 m et 10 m, ce qui, combiné à des débits élevés représente un gros potentiel de production d'électricité.

### I.8 Récupération du potentiel hydroélectrique

Dans le cas des eaux issues des rejets des systèmes de refroidissement des centrales thermiques implantées sur les côtes, le potentiel hydroélectrique est tout d'abord dû aux débits importants de ces rejets. Ensuite, pour les centrales qui sont implantées à une hauteur appréciable du niveau de la mer, il y a une contribution intéressante de la hauteur de chute au potentiel à récupérer dans ces eaux. Par ailleurs, il est facile de relever qu'aucun des inconvénients cités ci-dessus pour l'hydroélectricité ne peut être associé à ce cas de figure. De plus, du fait que l'eau a déjà été filtrée avant d'être envoyée dans les condenseurs, la prise d'eau pourra être directement branchée sur le canal de rejet et il n'y a nul besoin de disposer d'une grille pour retenir d'éventuels corps solides qui seraient introduits dans l'ouvrage d'aménée.

Aussi on peut souligner l'importance du potentiel hydroélectrique existant dans les réseaux d'eau potable dans les stations de traitement d'eau qui est régularisé par des brises charges pour dissipation d'énergie. Cette eau est stockée dans des réservoirs puis canalisée vers les stations de pompage et de distribution alimentant les réseaux de consommation.

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit les concepts de base des systèmes hydroélectriques et nous avons décrit et caractérisé les différents éléments qui interviennent dans ces systèmes. On a également souligné l'importance du potentiel contenu dans les eaux des rejets des centrales thermiques à systèmes de refroidissement ouverts, notamment celles qui sont surélevées par rapport au niveau de la mer, et également les centrales de traitement des eaux régularisé par des brises charges.

Le chapitre suivant est consacré à l'évaluation du potentiel hydroélectrique dans une centrale de traitement des eaux potable qui est régularisé par des brises charges, nous sélectionnerons la turbine adaptée pour exploiter ce potentiel.

# **Chapitre II : Evaluation du potentiel hydroélectrique du site et choix de la turbine**

### **Introduction**

Comme mentionné au chapitre I, le potentiel hydroélectrique d'un site donné est proportionnel au produit de la hauteur disponible par le débit. Ceci le rend intéressant même au niveau des sites caractérisés par une faible hauteur, étant donné que le débit est toujours important. Cependant, le potentiel hydroélectrique des centrales situées en hauteur est autrement plus intéressant, représentant la plus grosse part de l'énergie de pompage dans ces centrales.

Avant d'entamer nos recherches sur le potentiel hydroélectrique et sélectionné la turbine correspondante on a effectué une visite guidée sur la centrale de traitement des eaux Koudiet-Acerdoune qui se situe dans la wilaya de Bouira dans le but de récolter les informations nécessaires à notre projet.

Dans ce chapitre on va s'intéresser sur l'explication et la démonstration des caractéristiques techniques et matériels de la centrale et des robinets à disque motorisé (brise charge), en appuyant sur les informations que nous avons récolter auparavant lors de notre visite, ainsi que l'évolution du potentiel hydroélectrique de la centrale et la turbine choisit.

### **II.1 Evaluation du potentiel hydroélectrique.**

Les centrales gravitaires utilisent le flot d'eau amené par la gravité et le cycle de l'eau. L'eau est utilisée directement dans le cas des centrales au fil de l'eau, ou après l'avoir stockée derrière un barrage dans le cas des centrales-écluses et des centrales-lacs.

Les centrales au fil de l'eau sont situées en plaine et exploitent des cours d'eau dont le débit est relativement constant. Sans barrage réserve d'eau, ces centrales impactent moins l'environnement mais sont plus dépendantes des précipitations. Elles produisent de l'électricité à bas coût pour la consommation de base.

#### **II.1.1 Description de la station de production de l'eau potable Koudiet Acerdoune**

Le barrage de Koudiet Acerdoune est l'un des grands projets de transfert d'eau en Algérie et se situe sur l'oued Isser, dans la commune de Maala qui se trouve dans la partie ouest de Bouira dans la daïra de Lakhedharia, a une cinquantaine de kilomètres de chef-lieu de la wilaya de Bouira et a une distance de 80 km au sud-est d'Alger.

Le barrage a une capacité de 640 million de m<sup>3</sup> et d'un volume de 178 million de m<sup>3</sup> annuel, c'est le deuxième barrage hydraulique après celui de Ben Haroune a la wilaya de Mila.

La mise en service officiel du barrage de Koudiet Acerdoune été en février 2010.

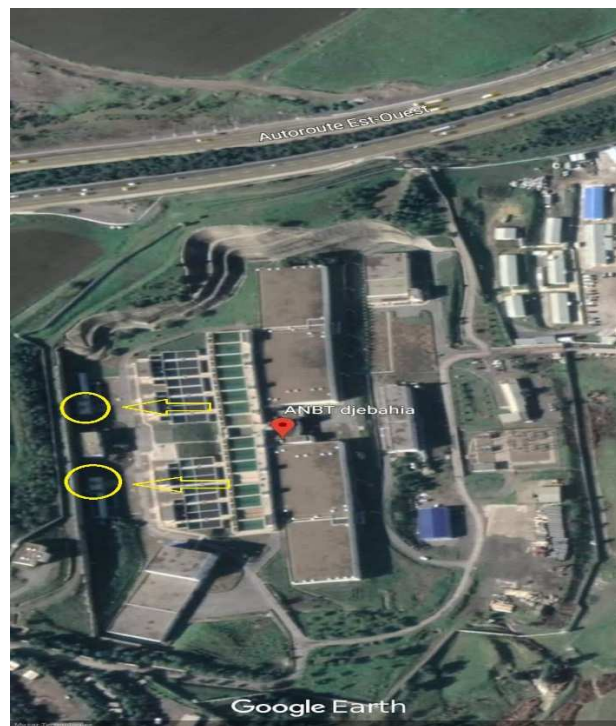
### II.1.2 La distribution de l'eau potable

La station de production de l'eau potable Koudiet-Acerdoune est rattachée administrativement à la commune Djebahia (wilaya de Bouira) est située à environ 15,4 km du barrage de Koudiet Acerdoune. Elle occupe une superficie de 28 hectares. La station est conçue pour l'alimentation près de 1.5 million d'habitants des wilayas du centre de pays en eau potable de commune suivante :

- Dans la wilaya de Bouira : Lakhedharia, Qadiria, Sour El Ghozlane, Djebahia, Ain Bessam, El Hachimia, Souq El Khemis, Dirah Raouraoua, Birgheballo et El Mokrani.
- Dans la wilaya de Tizi Ouzou : Draa El Mizane, Bougheni, Tizi Ghenif, Ouadhias, Mechetras, Bounouh, Frikate, Ain Zaouia et Assi Youcef.
- Ainsi quelques communes de wilaya de M'sila et Médéa.

Grâce à Google Earth, nous avons pu obtenir la capture d'écran présentée à la figure (Figure.2.1) ci-dessous à partir d'une image satellite de la centrale de traitement des eaux Koudiet Acerdoune. On peut voir la place où les brises charges sont implantées.

On a pu avoir des informations sur la hauteur du barrage par Rapport au niveau de la centrale qui est de 38m aussi le débit (Q) ainsi que la pression (P) d'un brise charge .Ces données peuvent être utilisées pour évaluer le potentiel hydroélectrique du site.



**Figure.2.1.** Photo satellite du site de la centrale de traitement des eaux Koudiet Acerdoune

On voit sur la photo (**Figure.2.1**) les quatre brises charges qui se situent dans les deux cercles jaunes sur lesquels on a effectué nos recherches et notre évaluation du potentiel hydroélectrique.



**Figure.2.2.** Les deux brises charge de la station Koudiet Acerdoune.

### II.1.3 Description du robinet à disque motorisé (brise charge)

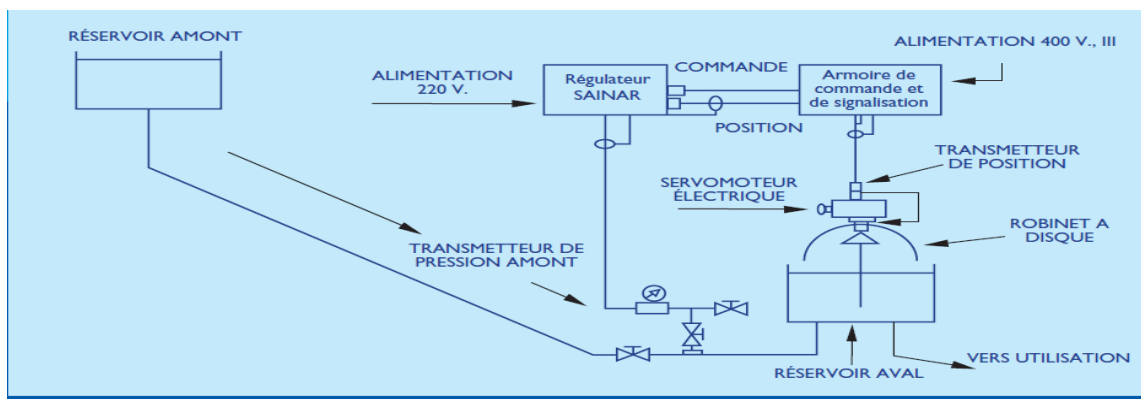
Le principe de son fonctionnement réside dans le fait que si l'on dispose sur un jet d'eau un disque solidaire à une tige articulée par son extrémité supérieure, le disque se centre sur le jet provoquant une dispersion radiale. [12]

Cet équilibre est parfaitement stable en effet, le disque écarté de sa position d'équilibre est soumis à une force contraire qui augmente avec l'éloignement et la pression. En déplaçant verticalement le disque, on règle facilement l'ouverture obtenant un régulateur de débit particulièrement simple et efficace avec une série d'avantages qui font de lui un équipement de haut rendement, [12]



**Figure.2.3.** Robinet a disque motorisé [12]

Le robinet à disque auto centreur est une variante de l'obturateur à disque à flotteur classique adapté aux nouveaux besoins de l'hydraulique et des techniques de gestion centralisées des réseaux de distribution ou d'irrigation. Comme l'obturateur à flotteur classique il se place à la sortie d'un conduit en charge, dans un réservoir, un bassin ou un barrage. Le principe du système est basé sur un mécanisme d'ouverture et de fermeture qui se compose d'un volant, un réducteur mécanique à actionnement manuel, une motorisation électromécanique ou bien un vérin oléo-hydraulique. Avec ce système on obtient la régulation de l'ouverture du robinet à disque avec une précision totale, indépendamment de la charge à laquelle il est soumis, et une fois les deux paramètres connus on peut régler le débit fournit par l'équipement [12].



**Figure.2.4.** Schéma d'une régulation type [12].

Lors de notre visite on a peut constater et évaluer l'énorme potentiel hydroélectrique présent dans un brise charge qui est sous forme d'une énergie perdue afin de le récupérer et l'exploiter pour produire de l'électricité avec une turbine qu'on va choisir dans ce chapitre [12].

Avant de présenter le potentiel hydroélectrique présent dans cette station on tient à préciser que ce potentiel dépend de la hauteur de chute qui est ici la hauteur du barrage par rapport à la station et aussi le débit et la pression à l'intérieur du brise charge [12].

### II.1 .4 Caractérisation des forces agissantes sur un écoulement dans une conduite [13]

La détermination des caractéristiques d'un écoulement consiste à rechercher la pression et la vitesse en tous points. Pour cela, il faut écrire des équations d'équilibre (ou de conservation) entre les différentes forces agissant sur le fluide. Ces équations qu'on va voir dans le chapitre suivant dites équilibre sont:

- l'équation de continuité ou équation de conservation de la masse (m) du fluide.

$$\frac{dm}{dt} = 0 \quad (2.1)$$

-l'équation de la quantité de mouvement qui traduit l'équilibre entre la somme des forces extérieures (F) qui exercent une influence sur le fluide et le taux de variation de la quantité de mouvement du fluide de masse m

$$\frac{d(m.\vec{V})}{dt} = \sum \vec{F} \quad (2.2)$$

Les forces qui agissent sur un volume fini de fluide sont de deux types :

- Les forces de volumes,
- Les forces de surfaces.

#### a- Les forces de surface. [13]

Elles se composent des forces suivantes :

- Les forces de pression :

La pression (p) est le rapport entre une force F agissant perpendiculairement à la surface (A) d'un fluide :  $P = \frac{F}{A}$

- Les forces de frottement de viscosité :

Nous avons vu précédemment qu'un fluide, dont les particules sont en mouvement relatif, génèrent des forces de frottement dues à la viscosité.

La force de frottement s'écrit :

$$F = \mu A \frac{\partial U}{\partial y} \quad (2.3)$$

$\frac{\partial U}{\partial y}$  : Variation de mouvement de particule de fluide par rapport à l'axe y

- Les forces générées par la turbulence :

La turbulence a tendance à « freiner » l'écoulement. Une façon de les représenter mathématiquement consiste à les assimiler à des forces de frottement, ce qui est compte tenu de la nature même de la turbulence.

**b- Les forces de volumes.** [13]

Elles se composent des forces suivantes :

- Les forces de pesanteur provenant de la gravité.
- Les forces d'inertie.

Les forces d'accélération pure proviennent de la variation de la vitesse (V) de la masse d'un fluide (M) dans le temps. [4]

$$F_{\text{acceleration pure}} = M \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2.4)$$

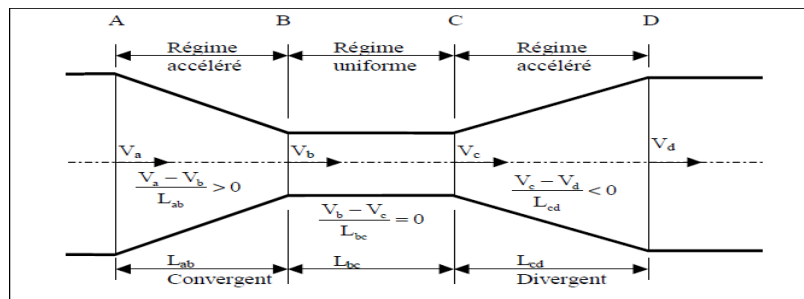
Prenons par exemple deux réservoirs à la même hauteur, dont l'un est vide et l'autre plein, reliés par une conduite de diamètre constant, horizontal et muni d'une vanne. À l'ouverture de la vanne, il se produit un écoulement. La variation de la vitesse dans le temps ( $\partial V / \partial t$ ) crée au sein de l'écoulement une force d'accélération pure.

- Les forces de pesanteur provenant de la gravité (Les forces d'accélération convective)

Elles proviennent de la variation de la vitesse ( $V_x, V_y, V_z$ ) dans l'espace (repère  $[x, y, z]$ ).

$$F_{\text{acceleration convective}} = M \left\{ \frac{\partial V}{\partial x} V_x + \frac{\partial V}{\partial y} V_y + \frac{\partial V}{\partial z} V_z \right\} \quad (2.5)$$

Prenons une conduite dont l'écoulement ne varie pas dans le temps ( $\partial V / \partial t = 0$ ). L'écoulement étant permanent, le débit est identique en tout point de la canalisation. Or, si la surface A est supérieure à la surface B alors la vitesse en B ( $V_b$ ) est supérieure à la vitesse en A ( $V_a$ ). Cette variation de vitesse va engendrer une accélération qui va générer une force d'accélération convective.



**Figure.2.5.** Les régimes dans une conduite convergente-divergente [13]

### c- Importance des différentes forces. [13]

En général, l'hydraulicien doit s'occuper de l'effet de la force dominantes, dans la plupart des problèmes d'écoulement des fluides, la pesanteur, la viscosité, et l'élasticité sont prépondérant, mais pas toujours simultanément,

L'importance relatives des différentes forces agissant sur un liquide est calculé par des nombres adimensionnels, Permet de simplifier ces rapports, les différentes dimensions utilisées sont :

- L : longueur,
- T ; temps,
- $\rho$  : masse volumique.

#### Le nombre d'EULER :

Le nombre d'Euler est le rapport entre les forces d'inertie (Ma) et les forces de pression (pA). [13]

$$\frac{Ma}{pA} = \frac{(\rho L^3)(\frac{L}{T^2})}{PL^2} = \rho \frac{V^2}{P} \quad (2.6)$$

- M : la masse,  
a : accélération du fluide,  
P : pression,  
A : la surface d'application de pression,  
V : vitesse caractéristique de l'écoulement.

Ce rapport est utilisé lorsqu'on calcul les forces (statique est dynamique) de l'eau sur une paroi ou un ouvrage.

#### Le nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds (Re) est le rapport entre les forces d'inertie (Ma) et les forces de viscosité ( $\tau A$ ). [13]

$$Re = \frac{Ma}{\tau A} = \frac{(\rho L^3)(\frac{L}{T^2})}{\mu(\frac{L}{T})L^2} = \rho \frac{VL}{\mu} \quad (2.7)$$

- $\tau$  : la force de frottement par unité du surface  
A : la surface d'application de la force de frottement  
L : longueur caractéristique d'écoulement

Ce rapport permet de distinguer le régime laminaire et turbulent.

- Si  $Re > 2500$  alors le régime est **turbulent**
- Si  $Re < 2500$  alors le régime est **laminaire**

### Exemple

- Écoulement dans une conduite circulaire :

Si  $Re > 2500$  alors turbulent

Si  $Re < 2000$  alors laminaire

$D_h$  : diamètre de la conduite

- Écoulement entre deux plaques parallèles

Si  $Re < 500$  alors laminaire Sinon turbulent

$L$  : distance entre les deux plaques

- Écoulement autour d'une sphère :

Si :  $Re < 1$  alors écoulement rampant

$Re < 10^5$  alors régime laminaire

$Re > 10^5$  alors régime turbulent

$D_h$  : diamètre de la sphère

### **II.1.5 La Chute. [14]**

#### **II.1.5.1 La hauteur brute $H_b$ .**

La hauteur brute représente l'énergie totale à disposition entre l'entrée et la sortie de l'aménagement. Elle est donnée par la différence d'altitude entre les niveaux d'eau à la prise d'eau et à l'aval de la centrale. C'est une donnée topographique mesurée sur le terrain ou sur la carte. Le niveau aval exact à prendre en compte dépend du type de turbine

Tout au long du trajet de l'eau en amont de la turbine, l'énergie totale, mesurée par rapport au plan d'eau aval, se décompose comme suit :

$$H_b = Z + \frac{v^2}{2g} + \sum H_L \quad (2.9)$$

$H_b$  : hauteur brute ou énergie totale, en [m]

$Z$  : hauteur (énergie potentielle), en [m]

$p/\rho g$  : hauteur de pression, en [m]

( $p$  est la pression relative, sur- ou sous pression, mesurée par Rapport à la pression atmosphérique)

$V^2/2g$  : hauteur de vitesse (énergie cinétique), en [m]

$g$  : accélération due à la pesanteur = 9.81 [m/s<sup>2</sup>]

$\rho$  : masse volumique de l'eau = 1000 [kg/m<sup>3</sup>]

$\sum H_L$  : Pertes de charges, en [m]

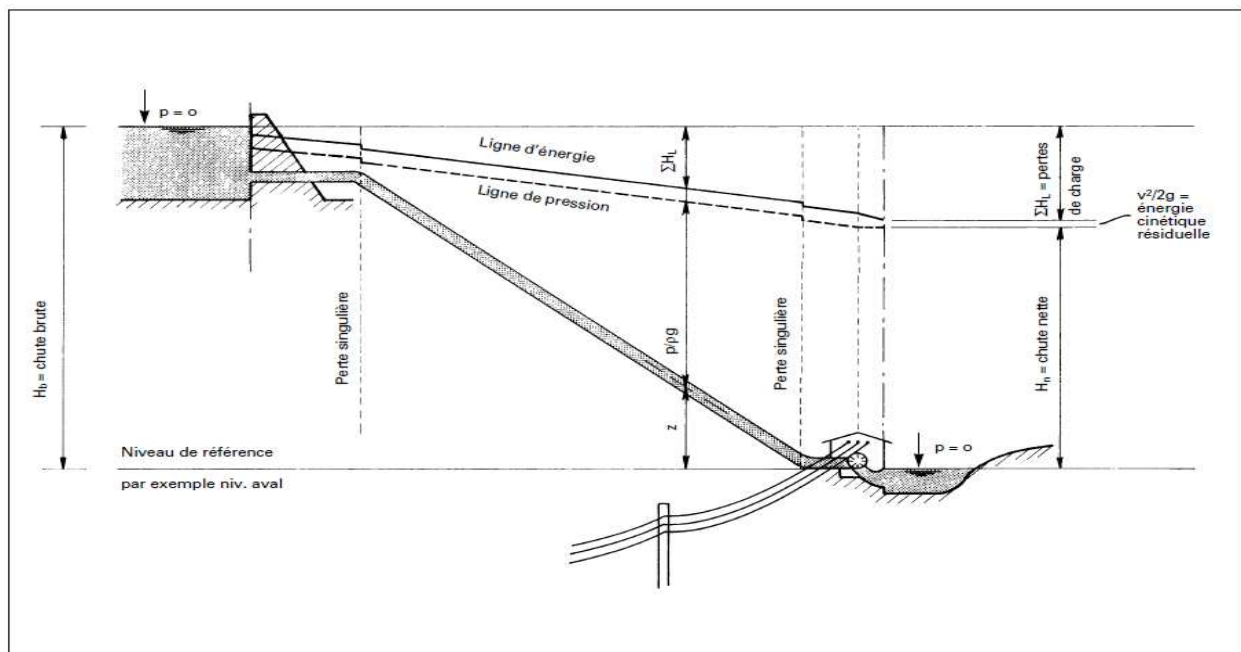
La (**figure.2.6**) montre le schéma d'un aménagement hydroélectrique avec la représentation des différents termes de l'équation (2.9) et leur variation le long du trajet de l'eau.

### II.1.5.2 Les pertes de charges

Les pertes de charge sont calculées en fonction de la géométrie des ouvrages et des matériaux utilisés. Elles varient avec le débit turbiné.

Elles sont de deux types :

- Les pertes locales ou singulières.
- Les pertes réparties ou linéaires.



**Figure.2.6** : Schéma d'un petit aménagement hydroélectrique [14]

### a- Les pertes locales ou singulières $H_{Ls}$

Sont les pertes liées aux singularités géométriques des aménagements, telles qu'entrées, sorties, grilles, rétrécissements, élargissements, coudes, bifurcations, etc. Elles varient avec le carré de la vitesse et dépendent de la géométrie de la singularité.

$$H_{Ls} = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (2.10)$$

$H_{Ls}$  : 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/s<sup>2</sup>].

### b- Les pertes réparties ou linéaires $H_{Lf}$

Sont les pertes par frottements entre l'eau et les parois. Elles ont lieu dans les canaux, conduites d'amenée d'eau et conduites forcées.

Elles varient avec le carré de la vitesse et dépendent de la géométrie de la section, de la longueur de la conduite ainsi que du matériau formant les parois.

La théorie complexe de l'hydraulique peut être, pour les cas usuels, simplifiée pour aboutir à la formule suivante :

Formule de Strickler :

$$H_{Lf} = \frac{v^2 \cdot L}{K^2 \cdot R_h^{4/3}} \quad (2.11)$$

$H_{Lf}$  : pertes linéaires, en [m]

$V$  : vitesse de l'écoulement, en [m/s]

$L$  : longueur de conduite considérée, en [m]

$K$  : coefficient de rugosité selon Strickler, en [m<sup>1/3</sup>/s], dépend Du type de matériaux et de l'état de la surface de contact entre l'eau et la paroi.

L'estimation de  $K$  est souvent difficile pour des anciens ouvrages et conduites , par exemple dans le cas des conduites forcées entartrées, etc. Il convient donc d'être prudent et d'étudier l'influence de la variation de  $K$  sur la production annuelle d'énergie.

A titre indicatif, nous donnons les valeurs suivantes :

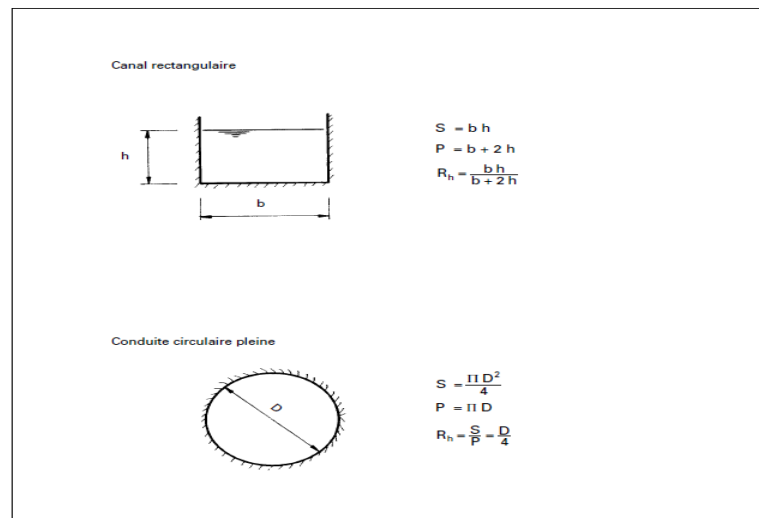
Matériaux	Etat	K [m <sup>1/3</sup> /s]
acier	conduite en bon état	75
acier	conduite ancienne, rouillée, incrustée	60
béton	lisse	85
béton	rugueux	60
PE, PVC		100

**Tableau.2.1** : Coefficients de rugosité selon Strickler [14]

$R_h$  : rayon hydraulique de la section, en [m], est défini comme le rapport entre la surface mouillée S et le périmètre mouillé P.

La (**figure 2.7**) montre un exemple de calcul du rayon hydraulique pour une section rectangulaire et circulaire.

En cas de variation des caractéristiques entrant dans le calcul des  $H_{Lf}$  le long du trajet de l'eau, il faut le découper en tronçons où les valeurs  $v$ ,  $R_h$ , K restent constantes, puis cumuler les pertes de chaque tronçon.



**Figure 2.7.** Calcul du rayon hydraulique pour une section rectangulaire et circulaire. [14]

### II.1.5.3 La hauteur nette $H_n$ .

La hauteur nette représente l'énergie effective à la disposition de la turbine, mesurée entre l'entrée et la sortie de la machine.

Elle se calcule pratiquement en déduisant de la chute brute :

- les pertes de charge à l'amont et à l'aval de la turbine  $\sum H_L$
- l'énergie cinétique résiduelle qui est perdue à la sortie de la turbine  $v^2 / 2g$ .

La hauteur nette disponible est donc :

$$H_n = H_b - \sum H_L - \frac{v^2}{2g} \quad (2.12)$$

Dans le cadre d'une étude préliminaire de petite centrale hydraulique, la perte de l'énergie cinétique résiduelle est le plus souvent négligée.

Elle peut cependant prendre une importance non négligeable dans les aménagements à basse chute.

Les formules (2.10) et (2.11) montrent que les pertes de charges tant singulières que linéaires sont fonction du carré de la vitesse, donc du carré du débit.

Dès lors, la somme des pertes de charges s'exprime par :

$$\sum H_L = A \cdot Q_t^2 \quad (2.13)$$

En calculant la somme des pertes de charges selon la marche à suivre exposée ci-dessus pour un débit  $Q_i$  quelconque, on peut déterminer le coefficient  $A$ .

$$A = \frac{\sum H_L(Q_i)}{Q_i^2} \quad (2.14)$$

Puis, en introduisant la valeur de  $A$  dans l'équation (2.12) il est possible de calculer  $\sum H_L$  pour toutes les valeurs de  $Q_t$  et de tracer le diagramme de la chute nette  $H_n$  en fonction du débit turbiné  $Q_t$ .

$$H_n = f(Q_t) \quad (2.15)$$

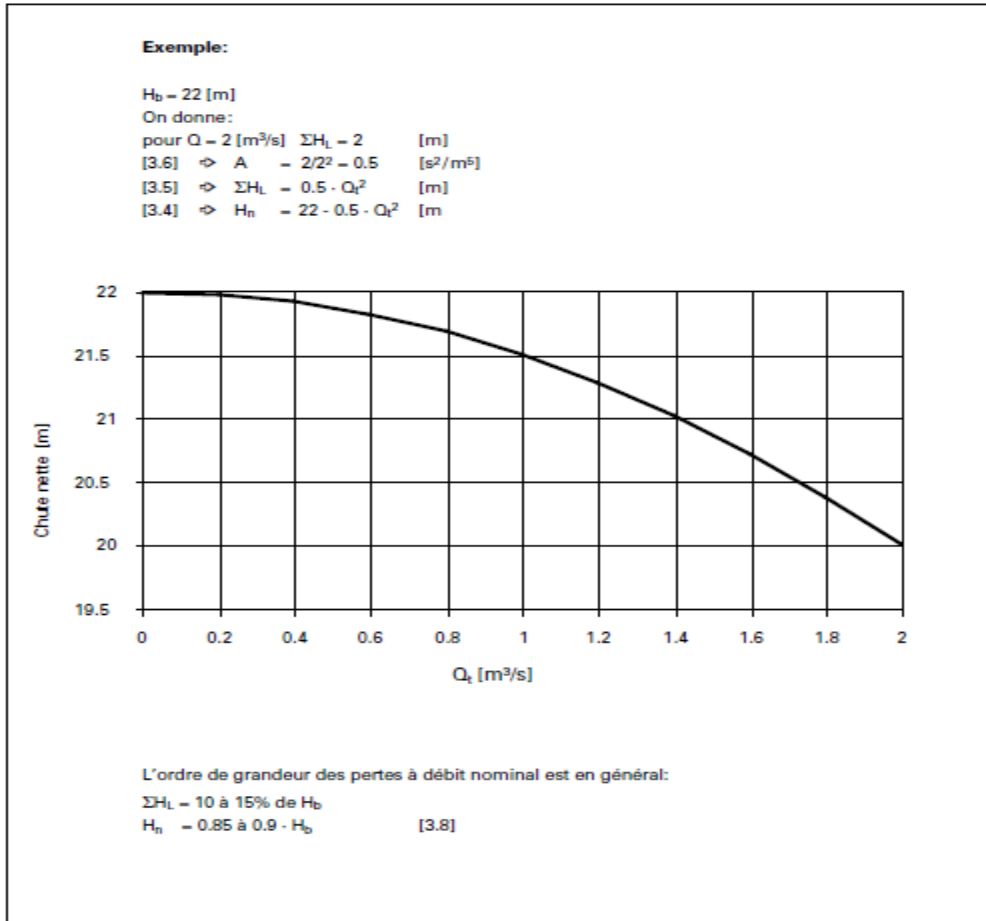


Figure 2.8: hauteur nette en fonction du débit turbiné – Exemple [14]

### II.1.5.4 La puissance hydraulique

Le débit et la chute nette permettent de calculer la puissance hydraulique à disposition:

$$P_{Hyd} = Q_t H_n \rho g \quad (2.16)$$

- P : puissance, en [W]
- Qt : débit turbiné, en [m<sup>3</sup>/s]
- H<sub>n</sub> : chute nette, en [m]
- ρ : masse volumique de l'eau = 1000 [kg/m<sup>3</sup>]
- g : accélération due à la pesanteur = 9.81 [m/s<sup>2</sup>]

### II.1.6 Calcul des pertes charges totales et de la hauteur nette de la centrale étudiée.

Ci-dessous en présente les résultats des tests effectués pour deux robinets sur lesquelles on peut lire la variation du débit et de la pression en fonction de l'ouverture.

On remarque que chaque débit et chaque pression lue à l'intérieur du robinet correspond à un pourcentage d'ouverture différent, aussi on remarque que le débit augmente avec l'augmentation de l'ouverture mais la pression elle diminue.

Premier robinet :

<b>Q : le débit (m<sup>3</sup>/s )</b>	<b>L'ouverture (%)</b>	<b>P : pression (bar)</b>
0.138	8	6.5
0.277	12	5.5
0.416	17	5.5
0.555	24	5.3
0.694	30	5
0.833	40	4.8
0.972	45	4.4
1.111	50	4.2
1.25	55	3.8

**Tableau.2.2.** Résultats des tests effectués sur le premier robinet

Deuxième robinet :

<b>Q : le débit (m<sup>3</sup>/s )</b>	<b>L'ouverture (%)</b>	<b>P : pression (bar)</b>
0	0	8
0.138	10	6.5
0.277	15	5.7
0.416	20	5.4
0.555	25	5.1
0.694	30	5
0.833	40	4.8
0.972	45	4.5
1.111	50	4.2
1.25	55	4.0

**Tableau.2.3.** Résultats des tests effectués sur le deuxième robinet

### Application numérique

D'après les équations des pertes charges qu'on a citées dans ce chapitre et les données réelles qu'on a obtenues on pourra les utiliser pour calculer la hauteur nette et les pertes charges totale :

- Les pertes charges totales dans le brise charge :

$$H_T = \frac{8\lambda Q^2}{g\pi^2 D^5} L_1 + \xi_{\text{coude}} \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} + \frac{8\lambda Q^2}{gD^5\pi^2} L_2 + \frac{8\lambda Q^2}{gD^5\pi^2} L_3 + \xi_{\text{conv}} \frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} \quad (2.17)$$

$$H_T = \frac{8\lambda Q^2}{g\pi^2 D^5} (L_1 + L_2 + L_3) + \xi_{\text{coude}} \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} + \xi_{\text{conv}} \frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4} \quad (2.18)$$

- La hauteur nette :

$$H_n = \frac{P_e}{\rho g} + \frac{8Q^2}{gD^4\pi^2} \left( 1 - \frac{\lambda}{D} (L_1 + L_2 + L_3) - \xi_{(\text{coude})} \right) - \frac{8Q^2}{gd^4\pi^2} \xi_{\text{conv}} \quad (2.18)$$

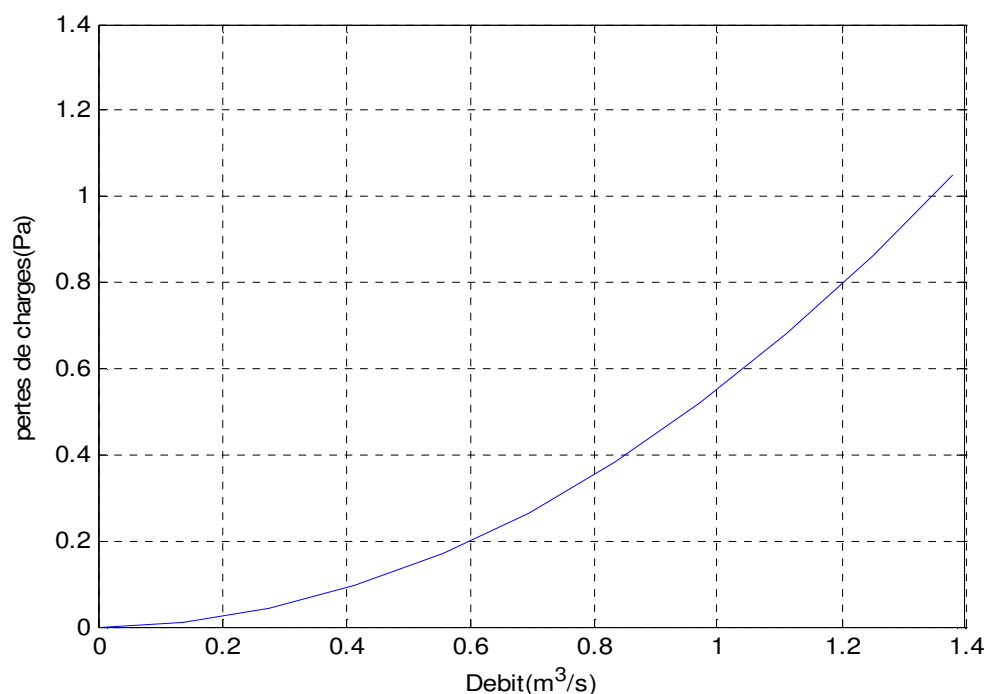
En utilisant les valeurs du **Tableau.2.2** et le **Tableau 2.3** et les équations des pertes charges et chute nette on a pu calculer les valeurs des pertes charges pour chaque débit et pression présente dans les deux tableaux à l'aide du logiciel <<MATELAB 2012 >>. Le tableau suivant montre les résultats que nous avons eus après l'application numérique.

On remarque que les résultats des deux brises charges sont similaires donc on va utiliser les valeurs d'un seul tableau :

<b>Q : le débit (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>L'ouverture(%)</b>	<b>P : pression (bar)</b>	<b>H<sub>n</sub> : chute nette(m)</b>	<b>H<sub>T</sub> : perte de charge totale (m)</b>
0	0	8.0	0	0
0.1380	10	6.5	66.2500	0.0105
0.2770	15	5.7	56.0200	0.0424
0.4160	20	5.4	55.9800	0.0955
0.5550	25	5.1	53.8800	0.1701
0.6940	30	5.0	50.7500	0.2659
0.8330	40	4.8	48.6000	0.3831
0.9720	45	4.5	44.4000	0.5216
1.1110	50	4.2	42.2300	0.6814
1.2500	55	4.0	37.9988	0.8626

**Tableau.2.4.** Les Valeurs numériques calculées

Après avoir eu les résultats et les valeurs numériques qui sont présentés dans le **Tableau.2.4**, un graphe a été dessiné avec le logiciel <<MATLAB 2012>>, dans le but d'étudier l'évolution des pertes charges en fonction du débit pour chaque pourcentage d'ouverture.



**Figure.2.9.** Variation des valeurs des pertes charges par rapport au débit

On peut remarquer dans le graphe de la (**figure.2.9**) que la valeur des pertes charge augmente à chaque fois que le débit augmente.

### II.2 Sélection du type de turbine à utiliser pour le site étudié

La sélection d'un type de turbine doit être en fonction non seulement de la chute nette et du débit, mais aussi des données spécifiques au site sur lequel la machine sera installée.

Notre choix de la turbine s'est basé premièrement sur la récupération de l'énergie hydraulique perdue dans le brise charge, ainsi que sur le rendement et le coût de l'installation de cette turbine et ces performances, et aussi en gardant la même structure de brise charge et éviter de faire beaucoup de modification sur la construction du brise charge.

#### II.2.1 Le but du projet

Afin de récupérer l'énergie hydraulique perdue dans le brise charge on a opté pour une turbine hydraulique et la placer à la sortie de la conduite juste avant le brise charge.

Afin de minimiser les coûts et aussi avoir de bonnes performances, on a choisi une turbine récemment inventée par le professeur et chercheur Mr Aliakbar Akbarzadeh qui est une turbine à réaction simple sur laquelle on va effectuer nos essais.[16]

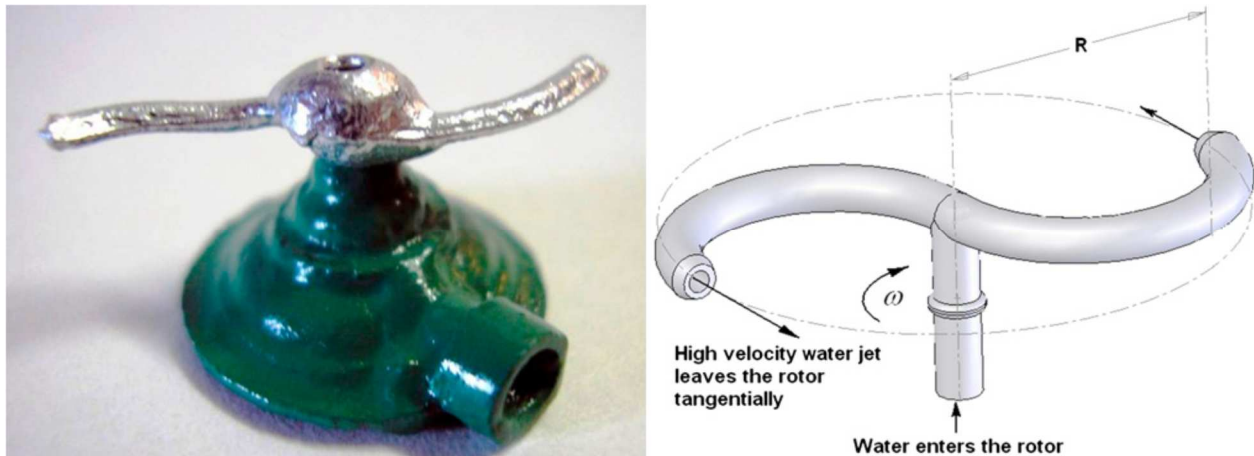
### II.2.2 Description et principe de fonctionnement.

Le présent document élargit les concepts pour en faire la base d'une exploitation à faible coût sous de faibles hauteurs d'eau. Un arroseur de gazon est représenté ici sous la forme d'une simple turbine à réaction, (**Figure.2.10**) où l'eau pénètre dans le rotor axialement sous haute pression ou à haute hauteur manométrique et quitte le rotor tangentiellement.

Ce type de turbine à réaction simple utilise la hauteur statique disponible dans l'eau et la convertit en tête dynamique avec les buses convergentes, qui font partie intégrante du rotor. Le changement de l'élan du fluide dans la buse provoque une force de réaction qui fait tourner le rotor et elle utilise le même principe de fonctionnement que cet arroseur. [15]

L'eau sous pression pénètre axialement dans la turbine à partir du tuyau d'admission stationnaire et quitte les buses du rotor radialement avec une vitesse relative élevée, comme illustré à la (**Figure.2.10**). Au départ, on peut supposer que les pertes visqueuses liées à l'écoulement de l'eau dans la tuyauterie, le rotor et les buses sont négligeables. [15]

Les pertes mécaniques, y compris les pertes d'usure dues à la rotation du rotor et les pertes par frottement dans les roulements, ne sont pas non plus prises en compte.



**Figure.2.10.** Un arroseur à gazon (turbine à réaction simple). [15]

Reconnaissant l'intérêt d'une turbine hydroélectrique de faible hauteur de chute à faible coût, une nouvelle turbine à réaction simple a été mise au point afin de produire de l'électricité à partir de sources d'eau à faible hauteur de chute. La nouvelle conception du rotor à une géométrie simple, peut être fabriquée sans compétences particulières à partir de matériaux disponibles localement (si peu coûteux) et peut être utilisée sur des sites hydroélectriques à faible hauteur de chute pour produire de l'énergie hydroélectrique.

Cette turbine à réaction simple est appelée " turbine à réaction fractionnée " par rapport à la méthode de fabrication. La (Figure.2.11) montre le schéma de la conception du rotor de la turbine.

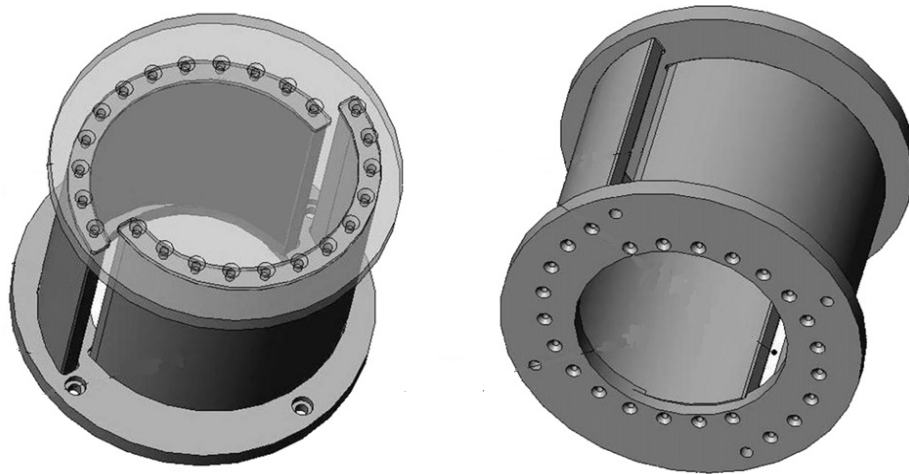


Figure.2.11. Dessin de la turbine à réaction simple [15]

### II.2.3 Critère de choix de la turbine

Pour choisir le type de turbine correspond au mieux à la topologie du site, les professionnels utilisent des abaques qui déterminent le type de turbine hydraulique le plus adapté en fonction de la hauteur de chute et du débit.

Dans le cas présenté dans ce mémoire on a choisi un type de turbine qui est récemment inventé et qui n'est pas encore sur le marché.

Le but de ce choix effectué est de faire des recherches approfondies sur ce type de turbine ainsi que l'essayer sur une centrale réelle et sur le plan pratique pour tester la faisabilité de ce projet sur le plan réel.

### II.2.4 Avantages et inconvénients de la turbine choisie

La turbine à réaction simple arrive à produire de l'énergie mécanique en captant l'ensemble de la force produite par l'eau, donc elle possède des avantages certains, mais également des inconvénients.

Dans cette partie on va présenter les avantages et les inconvénient de la turbine à réaction simple :

### **II.2.4.1 Avantages :**

- Le cout de la fabrication : elle est moins couteuse par ce qu'elle ne possède pas un grand nombre de pièces constituante et elle n'a pas besoin de grand moyens industriels pour la fabriquer.
- Le cout de l'installation : son installation ne nécessite pas un grand investissement ou des moyens couteux.
- La rapidité de la fabrication et de l'installation : le temps de la réalisation et de l'installation est minimal
- Facilité de La maintenance et de la réparation.

### **II.2.4.2 inconvénients.**

- Vu l'étude théorique d'interférence du rotor et le jet, le modèle de ces turbines à un point critique de la vitesse maximum qu'elle ne doit pas dépasser
- Rendement, elle n'atteint pas le même rendement par-rapport au d'autre turbine existante sur le marcher
- La turbine n'est pas encore commercialisée
- Il faut des études plus approfondies sur le problème d'étanchéité.

## **Conclusion**

A présent que le type de turbine adapté a été sélectionné pour le site étudié et que nous disposons de la hauteur nette et les pertes charges représentant l'énergie disponible pour la turbine, donc dans le chapitre suivant nous allons procéder à un dimensionnement sommaire des éléments principaux et de la géométrie de la turbine pour assurer un rendement optimal.

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

### Introduction.

Dans ce chapitre nous avons à explorer les performances d'une turbine hydraulique à réaction simple pour la production d'énergie électrique, en utilisant les principes de conservation de la masse et de l'énergie. Nous avons également décrit la conception d'un rotor transversal, à partir d'une géométrie optimisée pour une hauteur du barrage qui est de 38 m, afin de produire de l'électricité, notre choix est porté sur un modèle de turbine à réaction simple récemment inventée.

L'objectif de dimensionnement est d'établir les dimensions de la turbine qui sont la hauteur du rotor ( $H$ ) et le diamètre ( $D$ ) de la turbine pour obtenir des vitesses de rotation élevées avec la hauteur de chute donnée, aussi les performances dans une situation réelle.

Pour une vitesse angulaire donnée ( $\omega$ ) et une hauteur de chute constante ( $H$ ), il n'y a qu'un seul diamètre de rotor pour lequel la turbine aurait un rendement maximal. Le diamètre optimal ( $D_{opt}$ ) est indépendant de la puissance ; il dépend uniquement de la hauteur, de la vitesse angulaire et du facteur de frottement ( $k$ ).

### III.1 Équations gouvernantes.

En supposant que les pertes liées à l'écoulement de l'eau de la source, la tuyauterie, le rotor et la buse sont négligés, les pertes mécaniques telles que les pertes de vent dues à la rotation du rotor et les pertes par frottement des roulements ne sont pas non plus prise en compte. Supposant que l'eau est incompressible, des équations ont entait établis avec l'aide de la (**figure 3.1**) [16].

$$U = R \omega \quad (3.1)$$

$$V_a = V_r - U \quad (3.2)$$

Avec la hauteur du centrifuge :

$$H_c = \frac{\omega^2 R^2}{2g} \quad (3.3)$$

Idéalement, l'énergie cinétique devrait être égale à la somme de l'énergie potentielle et l'énergie due à la hauteur du centrifuge (en supposant un frottement du fluide négligeable).

$$\frac{1}{2} \rho V_r^2 = \rho g (H - H_c) \quad (3.4)$$

$$V_r = \sqrt{2gH - R^2 \omega^2} \quad (3.5)$$

Le débit massique sortant de la buse peut s'écrire comme suit :

$$\dot{m} = \rho V_r A \quad (3.6)$$

Par conséquent

### Chapitre III : Dimensionnement de la turbine

---

$$\dot{m} = \rho A \sqrt{2gH - R^2 \omega^2} \quad (3.7)$$

Le couple produit par la turbine peut s'écrire comme suit :

$$T = \dot{m} V_a R \quad (3.8)$$

Le couple et la vitesse angulaire peuvent être associés à la fonction puissance de sortie

$$\dot{W} = T \omega \quad (3.9)$$

Avec l'application de la conservation de l'énergie, nous obtenons :

$$\dot{m}gH = \dot{W} + \frac{1}{2} \dot{m} V_a^2 \quad (3.10)$$

$\frac{1}{2} \dot{m} V_a^2$  Est l'énergie cinétique perdue lorsque l'eau s'écoule.

Si l'on considère les pertes liées à l'écoulement de l'eau d'approvisionnement, la tuyauterie, le rotor et la buse, alors nous pouvons réécrire l'équation ci-dessus comme suit :

$$\dot{m}gH = \dot{W} + \frac{1}{2} \dot{m} V_a^2 + \frac{1}{2} \dot{m} k V_r^2 \quad (3.11)$$

Où (k) est le coefficient représentant les pertes par frottement du fluide associé à la vitesse relative  $V_r$ . Ainsi d'après les équations. (3.1), (3.2), (3.5), (3.6), (3.8), (3.9) et (3.11) nous obtenons :

$$V_r = \sqrt{\frac{1}{(1+k)}} * \sqrt{2gH - R^2 \omega^2} \quad (3.12)$$

Enfin, l'efficacité du système étant capable de convertir l'énergie potentiel pour produire le travail peut s'écrire comme suit :

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{m}gH} \quad (3.13)$$

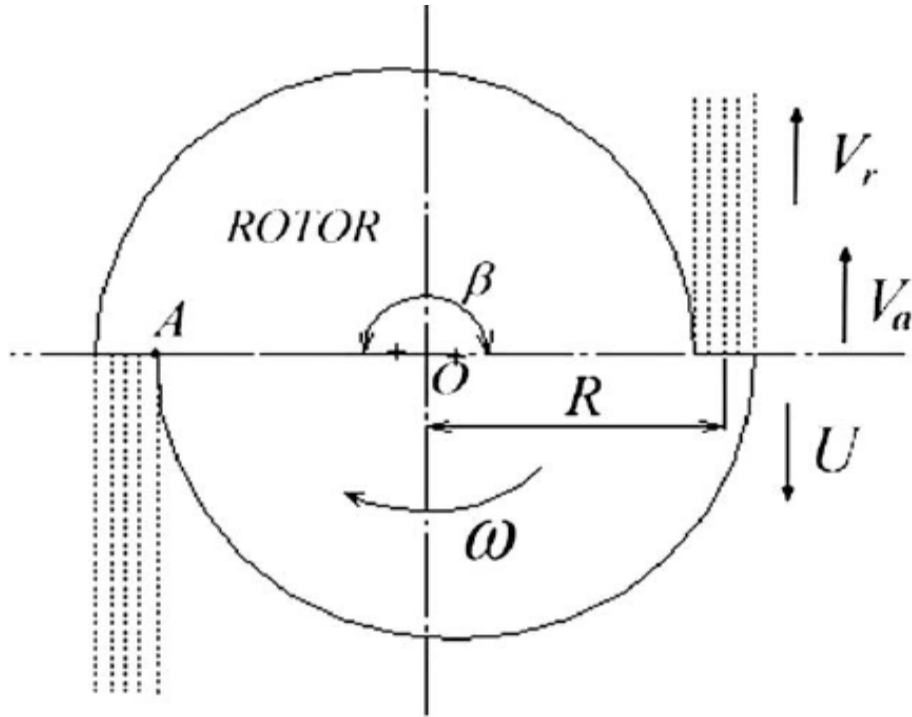


Figure 3.1. Schéma du rotor avec des vitesses [16].

Maintenant, si nous considérons les conditions réelles de fonctionnement, il y aurait une perte de puissance considérable associée à l'écoulement de l'eau à travers la simple turbine hydraulique à réaction. Le facteur qui représenterait la perte de puissance par frottement du fluide associé à l'écoulement du fluide dans la turbine a été introduit et défini dans cette section. Ce facteur serait appelé facteur (k) tout au long du présent document. Par conséquent, l'équation (3.10) est modifiée comme suit [15] :

$$\dot{m}gH = \dot{W} + \frac{1}{2}\dot{m}V_a^2 + \frac{1}{2}\dot{m}kV_r^2$$

or

$$\dot{W} = \dot{m}gH - \frac{1}{2}\dot{m}V_a^2 - \frac{1}{2}\dot{m}kV_r^2 \quad (3.14)$$

D'après les équations (3.6) et (3.12) on obtient :

$$\dot{m} = \rho A \sqrt{\frac{1}{(1+k)}} \sqrt{2gH + R^2\omega^2} \quad (3.15)$$

Pour une situation idéale où il n'y a pas de pertes par frottement ou en d'autres termes  $k=0$ .

$$\dot{m} = \rho A \sqrt{2gH + R^2\omega^2} \quad (3.16)$$

Le facteur k peut être calculé en réécrivant l'équation (3.10) comme suit :

$$k = \frac{2gH + R^2 \omega^2}{\left(\frac{m}{\rho A}\right)^2} - 1 \quad (3.17)$$

Tous les paramètres de l'équation (3.12) peuvent être obtenus expérimentalement afin de calculer le facteur (k). Pour une géométrie de turbine donnée, à partir de l'équation (3.12), si la hauteur manométrique est maintenue constante, le facteur k dépend de la vitesse de rotation et du débit [15].

### III.2 Diamètre optimal d'une turbine hydraulique à réaction simple.

Le "diamètre optimal" est défini ici comme le diamètre correspondant au point d'efficacité maximale pour une vitesse de rotation donnée avec une hauteur de chute constante.

Pour une vitesse de rotation donnée et une hauteur manométrique constante, il existe un diamètre de rotor unique pour lequel la turbine a le rendement le plus élevé comme indiqué ci-dessous. Une expression pour le diamètre optimal peut être dérivée comme suit :

D'après les équations (3.1), (3.2), (3.9), (3.11), (3.13) et (3.15) :

$$\eta = \frac{R\omega}{gH} \left[ -R\omega + \sqrt{\frac{1}{(1+k)}} * \sqrt{2gH + R^2 \omega^2} \right] \quad (3.18)$$

Différenciation de l'équation (3.18) par rapport au rayon de la turbine R et égalisation du différentiel à zéro pour la condition de rendement maximal :  $\frac{d\eta}{dR} = 0$  ca nous donne :

$$D_{opt} = 2R_{opt} = 2 \frac{\sqrt{gH}}{\omega} * \sqrt{\left( \sqrt{\frac{1+k}{k}} \right) - 1} \quad (3.19)$$

À partir de l'équation (3.19), on peut voir que le diamètre optimal est indépendant de la puissance et dépend de la vitesse de rotation, de la racine carrée de la hauteur et du facteur (k).

En utilisant l'équation (3.19) et un facteur (k) supposé, les courbes illustrées à la (**figure 3.2**) ont été calculées pour une turbine à réaction simple. Elle nous montre la variation typique du diamètre optimal de la turbine avec la vitesse de rotation pour quatre hauteurs différentes.

Il est intéressant de noter que l'effet de la hauteur sur le diamètre optimal de la turbine diminue à des vitesses plus élevées. Par exemple, pour un facteur (k) de 0,05, la (**figure 3.2**) montre qu'une turbine à réaction simple fonctionnant à une hauteur constante de 1 mdrain tournant à 400 tr/min a un diamètre optimal de 0,29 m, alors qu'à la même vitesse de rotation à une hauteur de 2 m le diamètre optimal est de 0,4 m. Ceci montre que pour un facteur (k) constant de 0,05 et une vitesse de rotation de 400 tr/min le diamètre optimal augmente sensiblement avec une augmentation de la hauteur d'exploitation. Si la vitesse de rotation est augmentée à 1400 tr/min, le diamètre optimal pour une hauteur de 1 m diminue à 0,08 m et celui pour une hauteur de 2 m à 0,12 m. Ceci montre qu'à des vitesses de rotation plus élevées, l'influence de la hauteur sur le diamètre optimal de la turbine est moins importante que pour des vitesses de rotation faibles.

La (Figure 3.2), montre également que pour un fonctionnement à hauteur constante, le diamètre optimal diminue si le facteur (k) est augmenté [15].

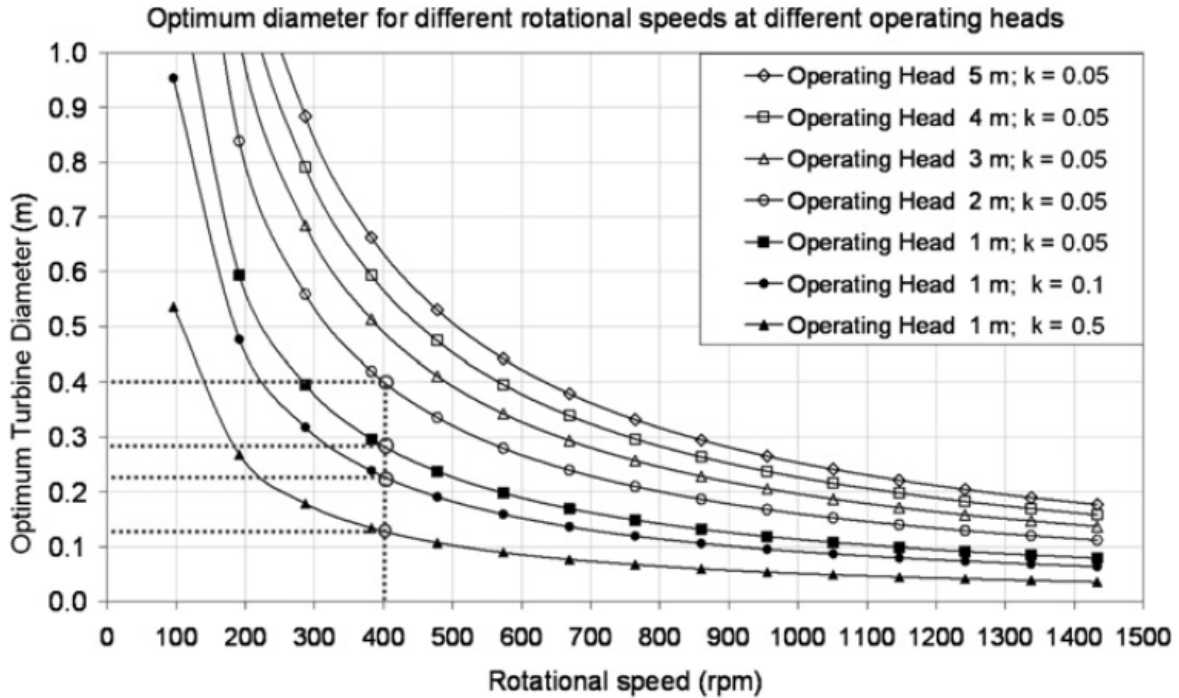


Figure 3.2. Le diamètre optimal de la turbine en fonction de la vitesse de rotation pour différentes hauteurs et de facteur de frottement de fluide [15].

### III.3 La vitesse sans interférence du rotor. [16]

Pour une turbine à réaction simple, il existe une certaine vitesse de rotation devant laquelle il n'y a pas d'interférence entre la turbine et le jet que l'on peut appeler la vitesse sans interférence. Alors que le rotor tourne à cette vitesse, le point C du rotor, tel qu'illustré à la (Figure 3.3), se croise avec le jet au point B.

L'équation pour la vitesse maximale sans interférence peut être comme suit :

Le point C du rotor intersectera le jet au point B si

$$t_{CB} = t_{AB} \quad (3.20)$$

Ici  $t_{CB}$  est le temps nécessaire au point C pour se rendre au point B et  $t_{AB}$  est le temps nécessaire pour qu'une particule d'eau se rende d'abord au point A pour se rendre au point B.

$$\frac{C\hat{O}B}{\omega} = \frac{AB}{V_a} \quad (3.21)$$



c'est-à-dire un nombre de buses égal à un. D'une part, le rotor tournera à sa vitesse de rotation la plus rapide.

Donc tant que le nombre de buses augmente la vitesse angulaire sans interférence diminue.

### III.4 Définition de la géométrie de la turbine.

Cette partie expose le choix et les détails de dimensionnement adopté, il faut savoir que le processus de passage d'une idée ou d'une conception à une réalité est un processus créatif et itératif long, la réalisation des plans des différentes pièces est la partie du projet qui nous a pris le plus de temps. Les changements apportés durant la conception ne seront pas tous présents ici, car ils sont trop nombreux.

#### III.4.1 diamètre de la turbine :

Pour trouver les dimensions de la turbine il faut connaître trois grandeurs caractéristiques qui sont la hauteur de la chute (H), le débit (Q) et la vitesse de rotation ( $\omega$ ).

Ayant déjà pris la connaissance des deux grandeurs caractéristiques du plan réel qui sont la hauteur de la chute  $H=38$  m, et le débit volumique  $Q=1,2$  m<sup>3</sup>/s, il nous reste donc de connaître ou de déterminer la vitesse de rotation.

Pour calculer la vitesse de rotation on utilise la relation du diamètre optimal équation (3.19), qui est indépendante de la puissance mais dépend de la vitesse de rotation :

$$D_{opt} = 2R_{opt} = 2 \frac{\sqrt{gH}}{\omega} * \sqrt{\left( \sqrt{\frac{1+k}{k}} \right) - 1}$$

Dans notre cas on est limité par des conditions telles que la géométrie de la conduite et du bris de charge sur le plan réel, donc le diamètre du rotor doit pas être inférieur ou égal à celui de la conduite qui est  $D_{cond}=0.63$  m afin que la turbine assure l'engendrement total d'écoulement d'eau à la sortie de la conduite, ainsi évite les fuites ou les pertes de débit massique, aussi ne doit pas dépasser le diamètre de bris de charge qui est  $D_{bc}=1.1$  m comme le montre la (**Figure 3.7**).

Pour obtenir des vitesses de rotation élevées avec une faible hauteur de chute, le diamètre de la turbine doit être très petit.

Donc on supposera le diamètre de la turbine est :  $D=0.7$  m.

#### a- Le coefficient de perte par frottement du fluide (k) :

Pour chercher la valeur de coefficient de frottement, on connaît auparavant la valeur de diamètre optimale qu'on a supposé avant ( $D_{opt}=0,7$  m), on est obligé de passer par le diagramme de diamètre optimale de la turbine en fonction de la vitesse de rotation ( $\omega$ )

Des tests ont été fait dans la station de traitement d’eaux (brise charges) avec des appareils placés sur les conduites tels que le débitmètre et le manomètre afin d’obtenir les données qui sont affichées sur le tableau 2.2 dans le chapitre II et qui montrent les résultats des tests effectués sur le premier robinet.

À l’ouverture minimum de 8 % de robine à disque de brise charge, on a :

$$Q_{\text{MIN}} = 0,138 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$p = 6,5 \text{ bar}$$

On a la hauteur centrifuge est égale à la hauteur nette donc :

$$H_{\text{net}} = H_c = \frac{P_e}{\rho g} + \frac{8Q^2}{gD^4\pi^2} \left[ 1 - \frac{\lambda}{D}(L_1 + L_2 + L_3) - \varepsilon_{cd} \right] - \frac{8Q^2}{gD^4\pi^2} \varepsilon_{cv}$$

**Application numérique :**

Avec :  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  ;  $\varepsilon_{cd} = 0.25$

$$H = 38\text{m}$$

$$L_1 = 3,75\text{m} \quad L_2 = 6,04\text{m} \quad L_3 = 1,11\text{m} \quad ; \quad \varepsilon_{cv} = 1$$

$$D = 1\text{m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Donc:

$H_{\text{net}} = H_c = 66,25\text{m}$ , on retire alors  $\omega = \sqrt{\frac{2gH_c}{R^2}}$  de la relation de la hauteur du centrifuge dans l’équation (3.3)

$$\omega = \sqrt{\frac{2(9,81)(66,25)}{(0,1225)}} = 103,0088 \text{ rad/s} * \frac{60}{2\pi} = 984,16 \text{ tr/min}$$

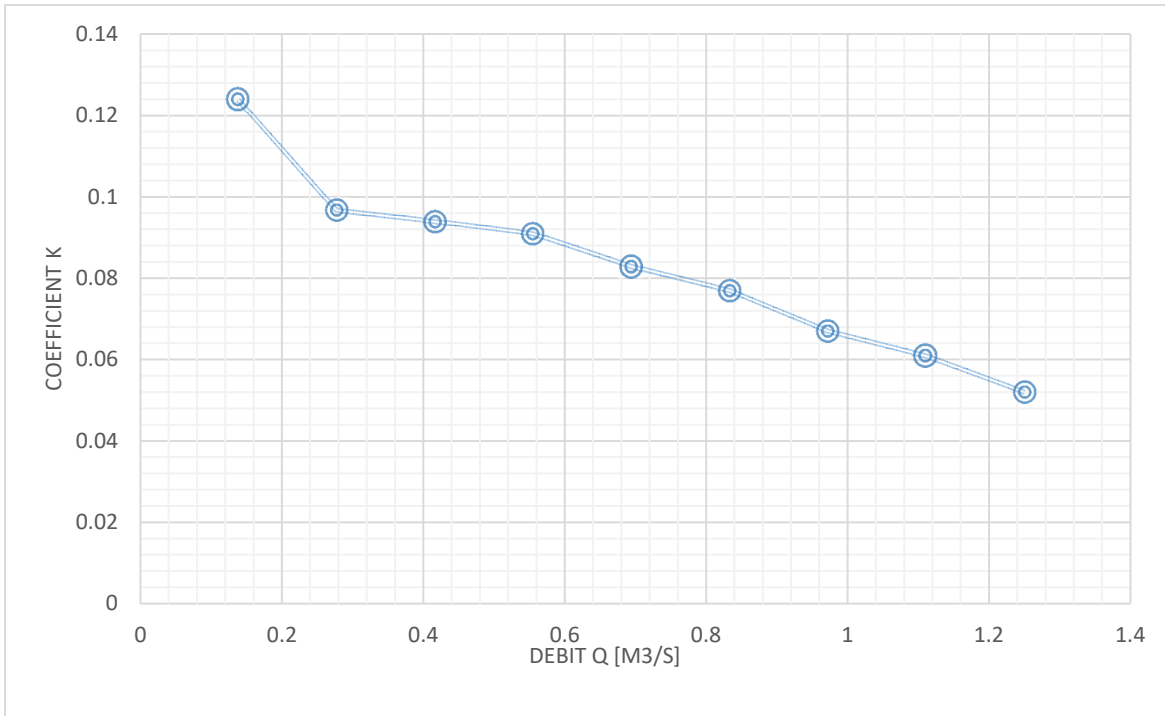
On revient alors à la relation du diamètre optimale dans l’équation (3.19) pour retirer le coefficient de frottement du fluide (k), on prend compte de diamètre  $D_t = 0,7\text{m}$  et on obtient ;

$$\frac{1}{K} = \frac{\omega^4 D^4}{16g^2 H^2} + \frac{\omega^2 D^2}{2gH} \tag{3.27}$$

D’ou  $k = 0,0522$

La (**figure 3.4**), (fait avec le logiciel Excel 2016) montre les valeurs estimées de facteur (k), calculée à l’aide de l’équation (3.27) est les données théoriques recueillies sur un modèle de turbine à eau divisée de 0,35 m de diamètre avec deux buses de sortie ayant une surface totale de ( $2 \times 0,0136958 \text{ m}^2$ ), ( largeur 0,035 m et une hauteur  $h = 0,3913 \text{ m}$  ), lors d’essai sur la maquette, la turbine a été maintenue à l’arrêt, c’est-à-dire  $U=0$  et les débits massique d’eau qui traverse la turbine ont été mesurées pour plusieurs pression d’entrée en utilisant un débitmètre mécanique. Durant l’installation de banc d’essai on a d’abord laissé la turbine librement tourner à sa vitesse

de rotation maximum pour une pression d'entrée constante, puis on a chargée progressivement la turbine par étapes, ce qui a entraîné une diminution de la vitesse de rotation



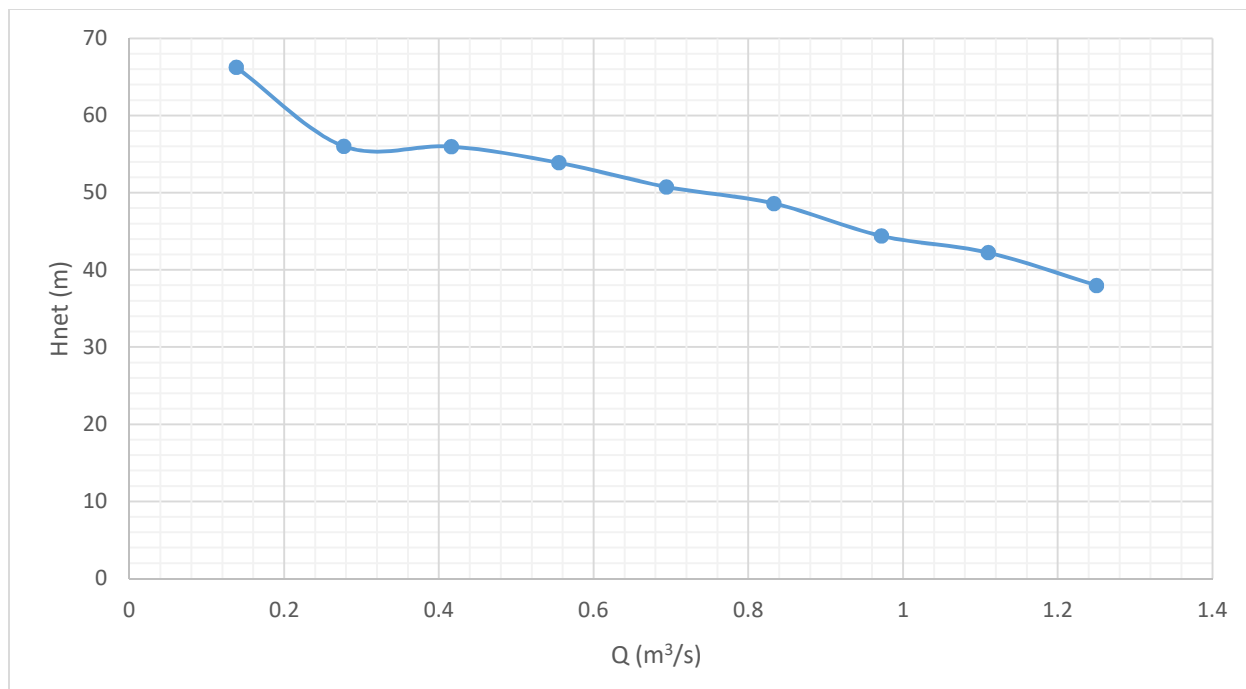
**Figure 3.4.** Diagramme de facteur (k) en fonction de (Q).

Le facteur de frottement (k) a été calculé, comme nous l'avons vu plus haut, ce dernier est en fonction de la vitesse de rotation et de débit, tandis que la vitesse relative du jet d'eau est proportionnelle au débit, ainsi, avec l'augmentation de la rotation, le débit augmente sous l'effet du pompage centrifuge, tout comme la vitesse relative.

On note qu'il est logique de trouver une relation inverse entre le facteur (k) et le débit Q et cela est dû aux résultats théoriques obtenus précédemment.

#### **b- L'Effet de la hauteur manométrique sur le débit massique :**

La courbe dans (**la figure 3.5**), (quand on a fait avec le logiciel Excel 2016) montre l'augmentation du débit massique associée à l'effet de pompage centrifuge, qui augmente avec la vitesse de rotation, le débit extrapolé de la figure ci-dessus montre que l'influence de la hauteur manométrique statique sur le débit diminue lorsque la vitesse de rotation augmente en raison de la hauteur centrifuge.



**Figure 3.5.** Diagramme de la hauteur nette  $H_{NET}$  en fonction de débit massique.

L'analyse théorique montre que le débit massique augmente avec l'augmentation de la vitesse de rotation on raison de l'action de pompage centrifuge, la variation de débit massique  $m$  avec la vitesse de rotation est presque linéaire et l'effet de la hauteur manométrique sur le débit massique diminue à des vitesses de rotation élevées.

L'effet d'auto-pompage, c'est-à-dire, augmentation du débit massique avec la vitesse de rotation, est applicable au cas pratique des pertes par friction et les résultats expérimentaux ont démontré ce phénomène.

### c- La vitesse de rotation de la turbine :

Symbole :  $\omega$                       Unité : [rad/s]

En connaissant donc la valeur de (k) et le diamètre qu'on a choisi on peut enfin calculer la vitesse de rotation en prenant compte de coefficient de frottement (k).

$$\omega = 2 \frac{\sqrt{gH}}{D} * \sqrt{\left( \sqrt{\frac{1+k}{k}} \right) - 1}$$

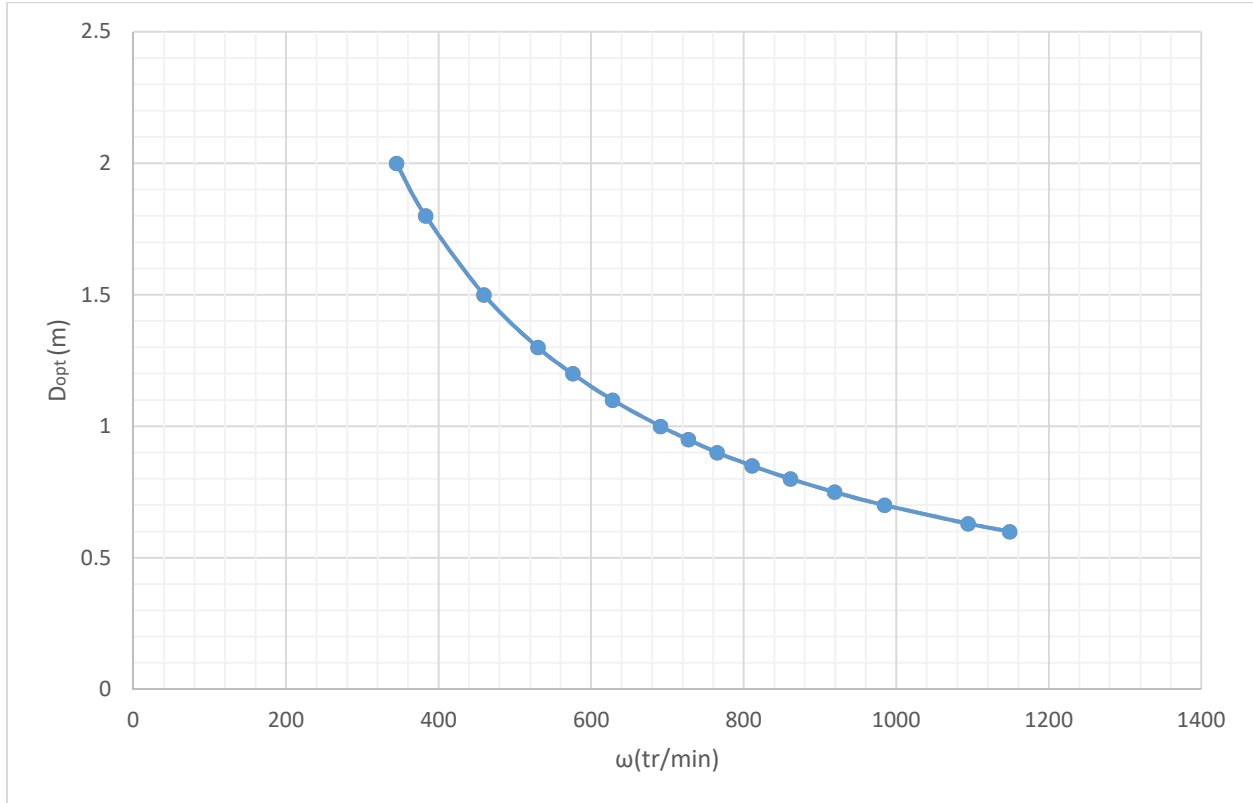
### Application numérique :

On a le débit max  $Q_{max}=1,208 \text{ m}^3/\text{s}$  la hauteur nette calculer avec les pertes des charges elle est de :

$H = 37,9988 \text{ m}$  alors;

$$\omega = 55,1643185 * 1,868064 = 103,0504 \text{ rad/s} * \frac{60}{2\pi} = 984,55 \text{ tr/min}$$

$$\omega = 103,0504 \text{ rad/s} = 984,55 \text{ tr/min}$$



**Figure 3.6.** Diagramme montre la variation de diamètre de rotor en fonction de la vitesse de rotation de la turbine.

$$D_{opt} = 2R_{opt} = 2 \frac{\sqrt{gH}}{\omega} * 1,868064$$

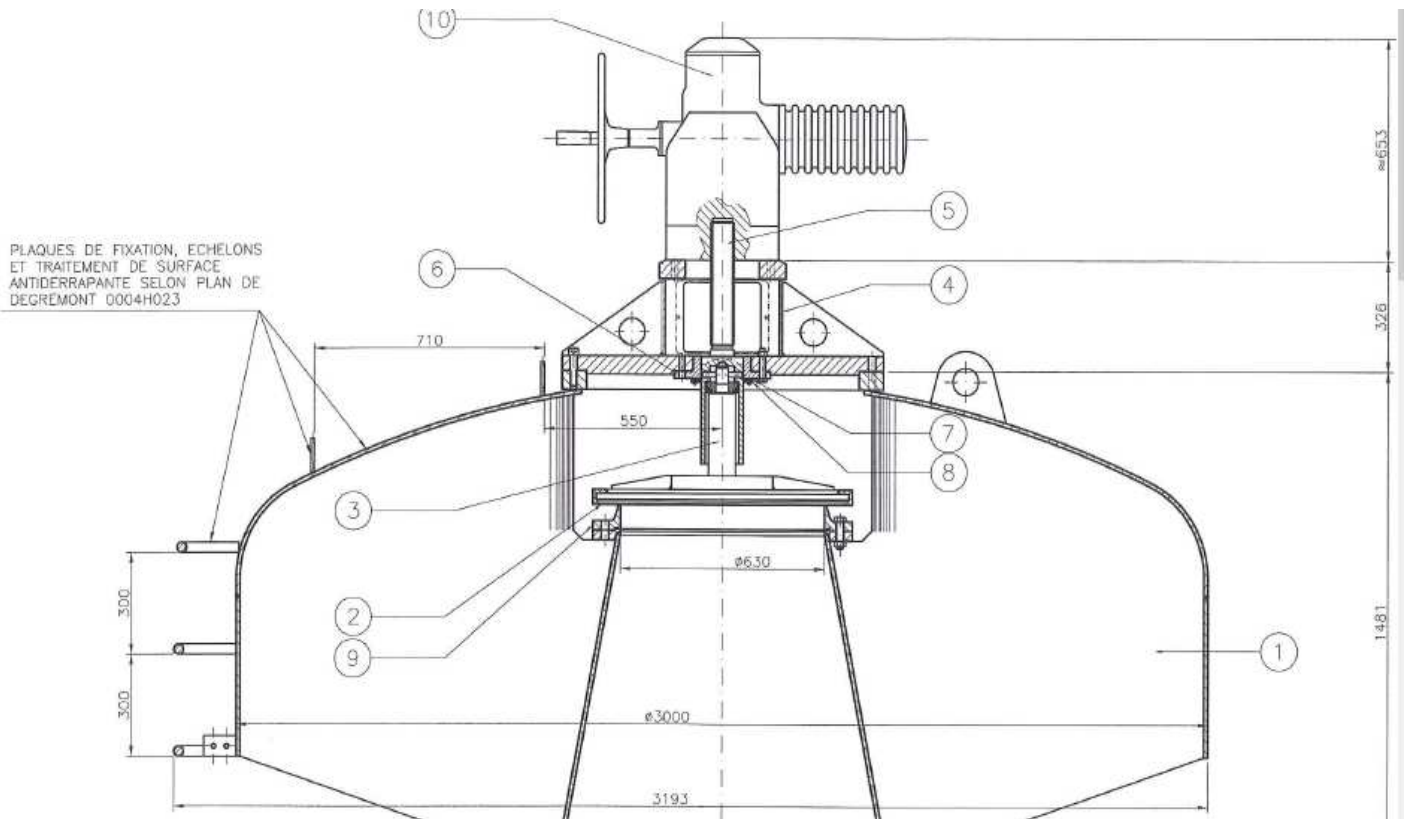
En appliquant la relation de diamètre optimal eqt (19) on obtient :

$$\omega = 2 \frac{\sqrt{gH}}{D} * 1,868064$$

Avec l'application numérique  $g=9.8 \text{ m/s}^2$ ;  $H=38\text{m}$  on trouve :

$$\omega = 103,0504 \text{ rad/s} = 984,55 \text{ tr/min}$$

### Chapitre III : Dimensionnement de la turbine



<b>1</b>	<b>1</b>	<b>Corp.</b>
<b>2</b>	1	Joint mouillé
<b>3</b>	1	Disque
<b>4</b>	1	Support
<b>5</b>	1	Tige de manœuvre
<b>6</b>	1	Bride de guidage
<b>7</b>	1	Joint
<b>8</b>	1	Couvre-joint
<b>9</b>	1	Siège
<b>10</b>	1	Servomoteur
<b>Ref</b>	Nom	Désignation
<b>Echelle 1/15</b>	Mesure en millimètre	-

Figure 3.7. Plan de brise charge [12].

Pour dire à quels points elle est importante la relation entre la vitesse de rotation et le diamètre de la turbine on a présenté deux graphes, le premier en (**figure 3.2**) réalisé par le professeur Iranien 'A. AKBARZADEH', et le deuxième fait après nos calculs et les résultats obtenus sont exprimés dans la (**figure 3.6**).

La différence entre ces deux derniers c'est que le premier basé sur les recherches théoriques et expérimentales et fait à l'échelle laboratoire pour des faibles hauteurs de chutes de (1-5m) et pour un coefficient de pertes par frottement maintenu à  $k=0.05$ , par-contre le deuxième graphe basé sur une hauteur de chute  $H=38\text{m}$ , une donnée quand on a sur le plan réel de site de la station de traitement d'eau de KOUDIET (BOUIRA) et aussi avec le coefficient de perte par frottement du fluide  $k=0,052$

On observe que pour une même hauteur, le diamètre optimal de la turbine diminue avec l'augmentation de la vitesse de rotation. Au début, le taux de diminution du diamètre optimal de la turbine est élevé, mais il diminue avec l'augmentation de la vitesse de rotation et finit par montrer une variation presque linéaire.

### III.4.2 La hauteur du rotor de la turbine.

Sur la base d'une analyse de modélisation, il est possible de montrer comment la forme optimale d'une turbine à réaction simple varie en fonction des différentes hauteurs opératoires. La (**figure 3.8**) montre une variation typique de la configuration de la turbine par rapport à la hauteur de chute. Ici  $h$  c'est à la hauteur de la turbine et c'est une dimension importante qui affecte la puissance de sortie. Dans le cas d'une turbine à réaction divisée, la surface de la buse de sortie est le produit de la largeur  $L$  (m) de la buse de sortie et de la hauteur  $h$  (m) de la turbine.

La (**figure 3.8**) nous indique aussi, que pour une vitesse de rotation constante de 1500 tr/min, une puissance constante de 5 kW, une largeur de buse de sortie constante de 0,008 m et un facteur  $k$  constant de 0,05, le diamètre optimal de la turbine et la hauteur  $h$  de la turbine dépendent de la hauteur de la chute. [15]

Pour une puissance de sortie constante et une vitesse de rotation constante si la hauteur de la chute augmente, le diamètre optimal de la turbine augmente et pour une largeur de buse de sortie constante  $L$  (m), la hauteur de turbine  $h$  (m) diminue. La largeur de sortie de la buse est maintenue constante afin d'éviter toute interférence du jet. La (**Figure 3.8**), montre comment la géométrie de la turbine passe d'une structure de petit diamètre en forme de tuyau long à tête basse à un disque de grand diamètre à tête haute. [15]

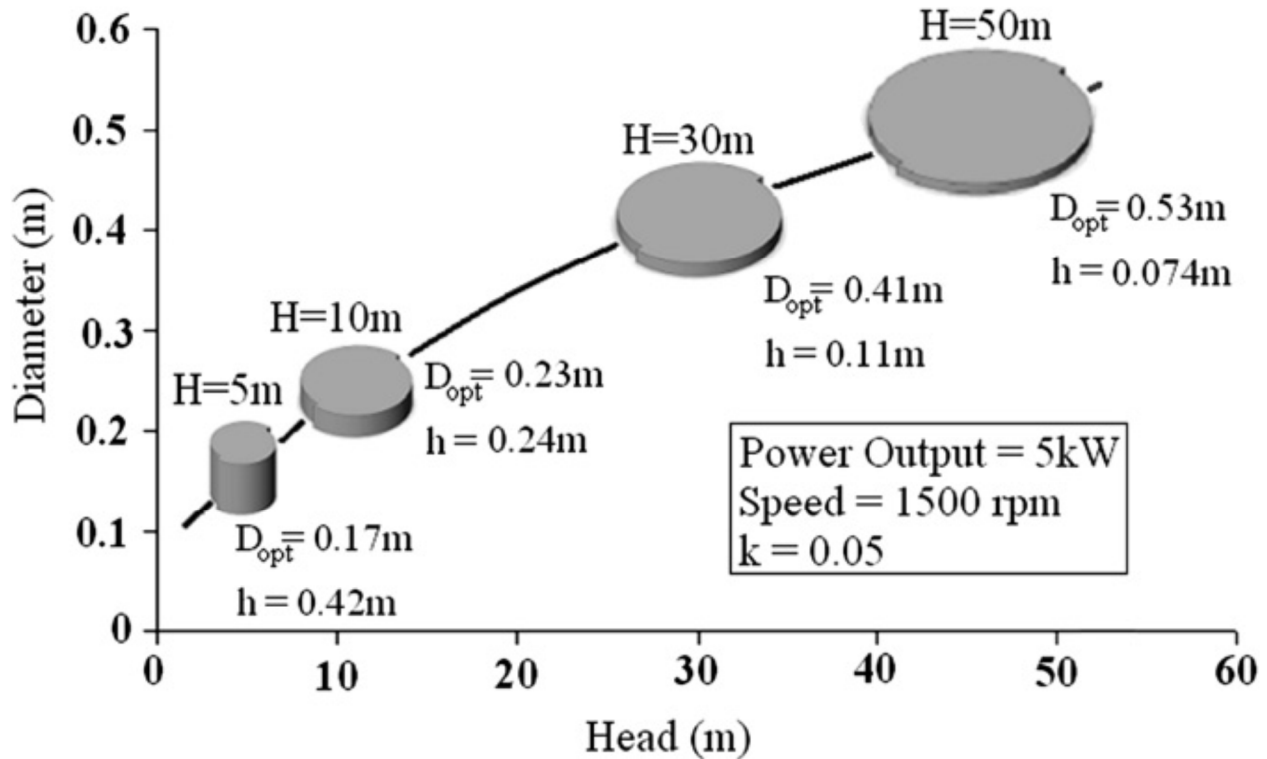


Figure 3. 8. Variation du diamètre de la turbine avec la hauteur de la chute [15].

### III.4.3 Triangle des vitesses.

Dans une turbine hydraulique, l'analyse de l'écoulement de liquide sur l'aube de la turbine s'exprime par la construction des triangles des vitesses représentant les vecteurs caractéristiques entre le liquide et le contact avec l'aube ou buse de sortie. C'est une décomposition du vecteur de la vitesse absolue de liquide lorsque cette dernière entre ou sort de la turbine. Cette vitesse absolue peut s'exprimer de la manière suivante :

$$\vec{V}_a = \vec{U} + \vec{V}_r$$

Où  $\vec{V}_a$  est le vecteur vitesse absolue,  $\vec{U}$  le vecteur vitesse d'entraînement ou tangentiel,  $\vec{V}_r$  le vecteur vitesse relative.

#### a- calcul de la vitesse relative $V_r$ :

Symbole :  $V_r$       Unité : [m/s]

$V_r$  est aussi la vitesse de l'eau à la sortie de la buse

Dans notre cas en prenant compte les conditions qui nous limite et qui sont le diamètre de la conduite et celui du brise charge, aussi l'espace entre la conduite et le Bride de guidage comme le montre la (figure.3.4), et qui limite la hauteur du rotor (h). On doit calcule une hauteur de la turbine en utilisant l'équation de la conservation du débit :

$$\text{Debit entrant} = \text{Debit sortant} \quad (3.28)$$

$$\dot{m} = \text{cst} \quad (3.29)$$

Dans notre cas le débit dans la conduite est égal au débit qui sort dans les buses, ce qui nous donne :

$$\rho VA_{cond} = \rho VA_{buse1} + \rho VA_{buse2} \quad (3.30)$$

Tel que,  $A_{cond}$  : est la section de la conduite

$A_{buse1}$  et  $A_{buse2}$  Sont respectivement les surfaces de la buse (1) et la buse (2) donc d'après les relations (3.27), (3.28) et (3.29) On aura

$$\rho VA_{buse1} = \rho VA_{buse2} \quad (3.31)$$

Donc

$$\rho VA_{cond} = \rho V_r(A_{buse1} + A_{buse2}) \quad (3.32)$$

Ce qui implique :

$$(A_{buse1} + A_{buse2}) = \frac{\rho VA_{cond}}{\rho V_r} \quad (3.33)$$

$$A_{buse1} = A_{buse2} = \frac{VA_{cond}}{2V_r} = \frac{Q}{2V_r} \quad (3.34)$$

Ayant auparavant de le débit massique  $\dot{m} = 1208 \text{ kg/s}$  comme donnée sur le plan réel

Pour pouvoir faire l'application numérique on doit calculer la vitesse de sortie de l'eau dans les buses  $V_r$ , et pour cela on applique l'équation (3.12) :

$$V_r = \sqrt{\frac{1}{(1+k)}} * \sqrt{2gH + R^2\omega^2}$$

$$V_r = 44,1011 \text{ m/s}$$

#### **b- Calcule de la surface des buses :**

Symbole :  $A_b$       Unité : [m]

On remplace le débit massique ( $\dot{m}$ ), et la vitesse relative ( $V_r$ ) par leurs valeurs dans l'équation (3.33) et on fait l'application numérique ce qui nous donne :

$$A_{buse1} = A_{buse2} = \frac{VA_{cond}}{2V_r} = \frac{Q}{2V_r} = 0,0136958 \text{ m}^2$$

Après avoir calculé la valeur numérique des deux surfaces des buses de sortie, on tient à rappeler que la surface de la buse est le produit de la hauteur du rotor  $h$  (m) et la valeur de la largeur  $L$  (m) :

$$A_{buse1} = A_{buse2} = h * L \quad (3.35)$$

Donc on calcule la valeur de la largeur des buses comme suit :

$$L = \frac{D_{opt} - D_{cond}}{2} \quad (3.36)$$

**Application numérique :**

$$L = \frac{0,7 - 0,63}{2}$$

$$L = 0,035 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{L}{2} = 0,0175 \text{ m}$$

Après avoir calculé les données nécessaires pour le calcul de la hauteur du rotor (h) et avec l'application de l'équation (3.34) on obtient :

$$h = \frac{A_{buse1}}{L}$$

$$h = 0,3913 \text{ m}$$

**c- La vitesse tangentielle U :**

Symbole :  $U$                       Unité : [m/s]

$$U = R * \omega = 103,0504 * 0,35 = 36,067 \text{ m/s}$$

**d- La vitesse absolue  $V_a$  :**

Symbole :  $V_a$                       Unité : [m/s]

$$V_a = V_r - U = 8,0341 \text{ m/s et } V_r = 44,101 \text{ m/s (calculé)}$$

**e- Vérification de la correspondance de la géométrie de la turbine avec les dimensions de brise charge.**

Pour pouvoir minimiser la main-d'œuvre et aussi pour faciliter la réalisation de notre projet sur la réalité, ce qui veut dire le montage de la turbine dans le brise charge, on doit respecter les limites et les conditions de la géométrie réelle du brise charge, tel que la turbine doit être optimiser pour être placer dans le brise charge entre le siège et le bride de guidage comme le montre la (**Figure 3.4**) en prenant compte de la largeur du rotor pour ne pas dépasser les bords du brise charge.

En comparant les résultats obtenus au donnée réel on trouve que la géométrie calculer dans ce chapitre correspond à celle de la réalité tel que la hauteur du rotor (h=39.3 cm) ne dépasse pas la distance entre le siège et le bride de guidage comme le montre la (**Figure 3.7**), et qui est de (40 cm) et aussi le diamètre optimal ( $D_{opt}=D=0,7$ ) ne dépasse pas la largeur limite qui est de (1,1m) :

$$h < 40 \text{ cm}$$

$$D_{cond} < D_{opt} < D_{bc}$$

$$0,63m < D_{opt} < 1,1m$$

### f- Vérification de la condition d'interférence du rotor et le jet d'eau avec les données réelles

On a:  $R = 0.35 \text{ m}$

$$V_a = 8,0341 \text{ m/s}$$

$$\omega = 103,0504 \text{ rad/s}$$

$$\delta = \frac{L}{2} = 0,0175 \text{ m}$$

$$\beta = \pi$$

$$\omega \leq V_a \frac{\beta - \arccos\left(\frac{R-\delta}{R+\delta}\right)}{2\sqrt{R\delta}}, \text{ application numériques}$$

$$103,0504 \text{ rad/s} \leq (8,0341 \text{ m/s}) * \frac{(3.14 - 0.4401) \text{ rad}}{0.1565 \text{ m}}$$

$$103,0504 \text{ rad/s} \leq 132.600 \text{ rad/s} \quad \text{la condition est vérifiée}$$

$$\text{On note que } 1 \text{ rad/s} \rightarrow \frac{60}{2\pi} \text{ tr/min}$$

Le problème de l'interférence des jets peut être utilisé à notre avantage pour empêcher l'emballement du rotor à vide, c'est-à-dire à l'état à vide, qui est un inconvénient courant d'une turbine à réaction.

Aux deux extrémités de la buse d'après la (**Figure 3.3**) et en contrôlant la taille de l'amortisseur, nous pouvons contrôler la vitesse maximal d'emballement à vide. Donc, dès que la turbine tournera à une vitesse légèrement plus élevée, le jet désiré frappera les amortisseurs et ralentira. En bas de la turbine [16].

#### III.5.1 Le couple produit par la turbine.

Symbole :  $T$       Unité :  $[\text{kg m}^2/\text{s}^2]$  ou  $[\text{N.m}]$

$$T = \dot{m} V_a R$$

$$T = (1208 \text{ kg/s}) * (8,0341 \text{ m/s}) * (0,35\text{m}) = 3396,81748 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

#### III.5.2 La puissance mécanique ou puissance de sortie.

Symbole :  $\dot{W}$       Unité :  $[\text{Watt}]$

Pour entrainer l'alternateur, il faut lui fournir la puissance mécanique

$$\dot{W} = T \omega$$

Avec  $\omega$  la vitesse angulaire ou de la vitesse de rotation,

$$\dot{W} = (3396,81748 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2) * (103,0504 \text{ rad/s}) = 350\,043,4000 \text{ W}$$

#### III.5.3 Puissance hydraulique $P_{\text{hyd}}$ (watt).

P : puissance [W]

Q : débit volumique [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\rho$  : masse volumique de l'eau = 1000 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

g : accélération due à la pesanteur = 9,81 [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

La puissance hydraulique est la puissance fournie à la turbine par l'eau qui l'alimente,

Le débit et la chute nette permettent de calculer la puissance hydraulique à disposition :

$$P_{\text{hyd}} = \rho * Q * g * H_{\text{net}}$$

Application numérique :

$$P_{\text{hyd}} = (1000 \text{ kg}/\text{m}^3) * (1,208 \text{ m}^3/\text{s}) * (9,81 \text{ m}/\text{s}^2) * (37,9988 \text{ m})$$

$$P_{\text{hyd}} = 450\,304,019424 \text{ W, la turbine subit une puissance de } 450,304 \text{ kW}$$

La puissance hydraulique doit être transformée en puissance mécanique qui sera utilisée directement (moulins, pompes, etc.) ou sera à son tour transformée en puissance électrique.

Le passage puissance hydraulique – puissance mécanique se fait grâce à la turbine qui est mise en rotation par le flux de l'eau.

#### III.5.4 Le rendement de turbine.

Symbole :  $\eta_t$       Unité : -

La transformation de la puissance hydraulique en puissance mécanique par la turbine entraîne des pertes. En effet, une partie de la puissance est perdue sous forme de bruit et de chaleur.

Le rendement, est défini par:

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{P_{\text{hyd}}}$$

Le rendement varie fortement avec le débit. Il est donné par les constructeurs sous forme de courbes comme celles de la (**Figure 3.9**).

Le rendement maximum est atteint pour un débit entre 60 et 90% du débit maximum. [14]

La valeur de  $\eta_t$  pour  $Q_{\max}$  est généralement inférieure à  $\eta_{\max}$

**Application numérique :**

$$\eta_t = \frac{\dot{w}}{P_{hyd}} = \frac{350,043, \text{kW}}{450,304 \text{ kW}} = 0,7773$$
$$\eta_t = 77,73 \%$$

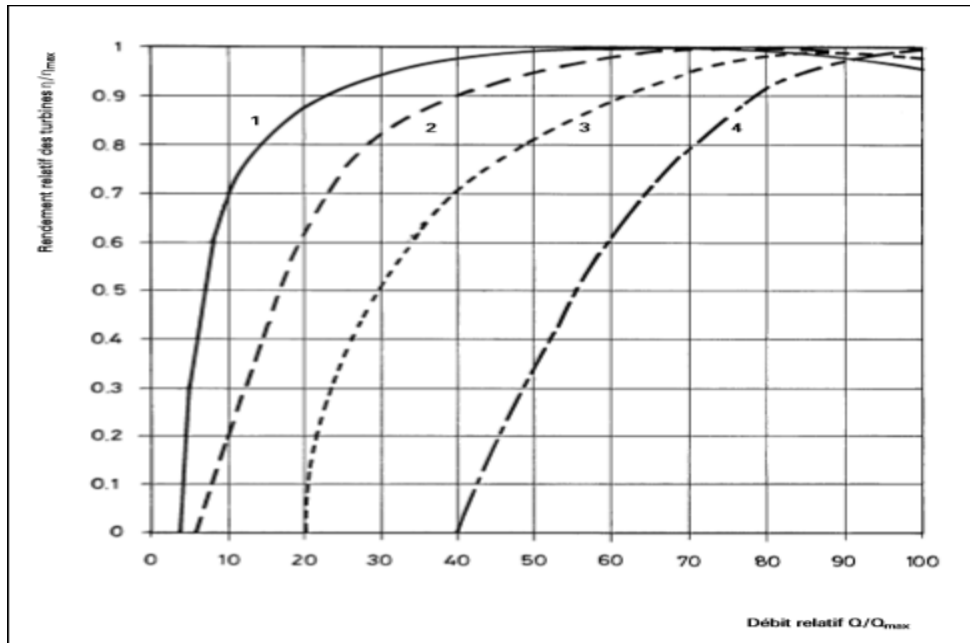
- **Remarques concernant le rendement des turbines des petites centrales.**

Pour les grandes centrales, généralement équipées de plusieurs groupes, c'est le rendement à débit nominal qui est déterminant.

En effet, la plage de variation des débits est couverte essentiellement en faisant varier le nombre de groupes en service.

Dans les petites centrales équipées d'un seul groupe, le rendement doit être bon sur toute la plage des débits turbinables même si le rendement maximum est un peu plus faible. Le rendement à charge partielle est donc très important.

En général une turbine sera arrêtée dès que le rendement devient inférieur à 30% environ.



**Figure 3.9 :** Forme des courbes de rendement de différentes turbines pour des débits variables [14].

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

Courbe 1 :	Turbine Pelton	$\eta_{\max} = 84 - 90\%$
	Turbine Crossflow à 2 cellules	$\eta_{\max} = 78 - 84\%$
Courbe 2 :	Turbine Kaplan	$\eta_{\max} = 84 - 90\%$
Courbe 3 :	Turbine Francis	$\eta_{\max} = 84 - 90\%$
	Turbine Crossflow à 1 cellule	$\eta_{\max} = 78 - 84\%$
Courbe 4 :	Pompe inversée	$\eta_{\max} = 75 - 90\%$

#### Conclusion

L'analyse et la comparaison ci-dessus, est pour simuler ou pour optimiser la petite turbine de petit diamètre a une turbine plus grande de diamètre c'est-à-dire de l'échelles laboratoire au plan réel

Ainsi, ceci montre que la simple turbine hydraulique a réaction de petit diamètre peut produire efficacement de la puissance grâce à sa vitesse de rotation aces acceptable en comparons au d'autre vitesse de rotation des quatre type des turbines existantes son avoir à être grosse et encombrante, d'après l'étude de cas, on peut dire qu'une quantité suffisante d'électricité peut être produite à partir de la ressource hydroélectrique d'une hauteur de chute disponible, qui peut à son tour fournir l'énergie nécessaire au pompage.

# **Chapitre IV : Réalisation du banc d'essai**

### Introduction

Ce chapitre est réservé à la présentation de notre conception de la turbine et du banc d'essai. Dans un premier lieu nous présenterons un schéma du banc d'essai avec les différentes pièces qui constitue cette machine, cela est suivi par des dessins d'ensemble et de définition de chaque pièce.

Par la suite on présentera Les différents processus de fabrication (tournage, fraisage, perçage, soudage...) de la turbine et aussi des pièces ont été présentées dans cette partie.

Avant d'entamer la réalisation on va procéder à la similitude pour calculer les valeurs et les données qu'on va utiliser sure la maquette, ainsi que la conception avec le logiciel << SolidWorks 2014>>.

### IV.1 Similitude

Lorsqu'un ingénieur se trouve devant la nécessité de prendre des décisions à l'étape de la conception d'un projet, il doit parfois initier un programme de tests sur un modèle réduit.

La base de ce genre de tests repose sur l'utilisation précise de l'instrumentation et l'application correcte de la théorie des similitudes, qui fait appel à l'analyse dimensionnelle et à l'utilisation de groupes adimensionnels.

Les tests sur modèles réduits ont lieu dans tous les domaines de l'ingénierie.

La théorie des similitudes exige la réalisation de tests qui satisfont les conditions d'une similitude géométrique, d'une similitude cinématique et d'une similitude dynamique entre le modèle réduit et le plan réel.

Mais avant de passer à la similitude on doit caractériser le régime d'écoulement de fluide dans la maquette on réservant les mêmes hypothèses des données réels dans la similitude, c'est-à-dire, la géométrie de la conduite et la cinématique, sauf que dans notre cas, on rencontre un problème ou des contrainte de réalisation de la maquette qui sont nombreux, mais ici il sera plus précisément le potentiel hydraulique ou on sera dépendant de matériel disponible, a vrai dire une pompe à eau et son état de fonctionnement, qui est une pompe verticale semi-émergente (de marque KSB type MOVICHROME N-CH5/12 PH25CH2 code 48830499 de 2900 l/min et de H=88 m) qui sera couplé à un moteur électrique de 2,2 KW

#### IV.1.1 La vitesse spécifique $N_s$

Nous rappelons d'abord que la théorie de la similitude des turbine hydraulique conduit à envisager un nombre appelle {vitesse spécifique} et dont sa valeur est donnée par :

$$N_s = N \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \quad (4.1)$$

N : la vitesse de rotation de la turbine [tr/min]

P : la puissance nette reçu par la turbine [KW]

H : la hauteur de chute [m]

### Application numérique

D'après les valeurs calculées dans le chapitre III on a :

N=984,55 tr/min ; P=450,304KW et H=38m

Donc on obtient une vitesse spécifique qui est :

$$N_s = 984,55 (21,22036/94,3473) = 221,425$$

$$N_s = 221,425$$

### IV.1.2 La similitude géométrique

On réduit les données sur une échelle de :  $\frac{1}{18}$  (0,055)

Le diamètre de la conduite est de 1m dans les données réelles seront réduites dans la maquette à 0,055m

#### a- La vitesse d'écoulement d'eau dans la maquette $V_m$

Régime d'écoulement :  $R_{e(\text{prototype})} = R_{e(\text{maquette})}$

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (4.2)$$

$v$  : la vitesse d'écoulement de fluide

$\mu$  :  $1 \times 10^{-3}$  Pa.s

D : 1m

$\rho$  : 1000 kg/m<sup>3</sup>

### Application numérique :

À l'ouverture de 55% de disque motorisé dans le brise charge on a :

$$Q=1,208 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{et } Q = \frac{V}{S} \quad \text{avec } S = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 \text{ m}^2 \text{ (diamètre de la conduite : 1m)}$$

$$\text{Alor : } V_{(\text{prototype})} = \frac{Q_{(p)}}{S_{(p)}} = \frac{(1,208 \text{ m}^3/\text{s})}{(0,785 \text{ m}^2)} = 1,538 \text{ m/s}$$

$$R_{e(\text{prototype})}=R_{e(\text{maquette})}=\frac{(1000)*(1,5388)*(1)}{(0,001)} = 1538800 \gg 2500 \text{ régime turbulent}$$

$$R_{e(\text{maquette})} = \frac{\rho V_{(m)} * D_{(m)}}{\mu}$$

$$V_m = \frac{Re \mu}{\rho D_{(m)}} = \frac{(1538800)*(0,001)}{(1000)*(0,055)} = \frac{(1538,8)}{(55)} = 27,978 \text{ m/s}$$

Donc, l'eau circule dans les conduites de la maquette a une vitesse de  $V_m=27,978 \text{ m/s}$  de diamètre 55 mm a un débit de  $Q_m=V_m S_m$

### b- débit de fluide dans la maquette

$$Q_m = V_m S_m$$

$$S_m = \frac{\pi D^2}{4} = 0,0023746 \text{ m}^2$$

$$Q_m = (27,978 \text{ m/s}) * (0,0023746 \text{ m}^2) = 0,06643 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_m = 0,06643 \text{ m}^3/\text{s}$$

La similitude géométrique signifie qu'on a :

$$K_L = \frac{L_m}{L_p} \quad (4.3)$$

$L_p$  : longueur dans le prototype

$L_m$  : longueur dans la maquette

Avec :  $L_p = 0,63\text{m}$  ; et  $L_m = 0,055\text{m}$

### Application numérique

$$K_L = \frac{(0,055)}{(0,63)} = 0,0873$$

- **Résultats obtenue après calcul**

Diamètre de la turbine :  $(0,7000\text{m}) * (0,0873) = 0,061131\text{m} = 61,13\text{mm}$

Hauteur de la turbine :  $(0,3931\text{m}) * (0,0873) = 0,034317\text{m} = 34,317\text{mm}$

Largeur des buses :  $(0,0350\text{m}) * (0,0873) = 0,003055\text{m} = 03,05\text{mm}$

Langueur  $L_1$  :  $(3,7500\text{m}) * (0,0873) = 0,3273\text{m} = 327,3\text{mm}$

Langueur  $L_2$  :  $(6,0400\text{m}) * (0,0873) = 0,5273\text{m} = 527,3\text{mm}$

Langueur  $L_3$  :  $(1,1100\text{m}) * (0,0873) = 0,0969\text{m} = 96,9\text{mm}$

Diamètre du col :  $(0,6300\text{m}) * (0,0873) = 0,055\text{m} = 55\text{mm}$

### IV. 2 Description du logiciel SolidWorks

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur, appartenant à la société Dassault Systèmes. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés : la pièce, l'assemblage, et la mise en plan. Ainsi toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercutée sur les deux autres. [17]

Le fondateur Jon Hirschtick a commencé à travailler sur SolidWorks en 1993 accompagné d'une équipe de développeur afin de rendre la CAO plus accessible.

A partir de 1995, la première version du logiciel est lancée.

En 1997, Dassault Systèmes devient actionnaire principal et continuera de développer les outils du logiciel.

SolidWorks permet de réaliser de la modélisation 2D et 3D, ce logiciel de CAO est réputé pour sa simplicité d'utilisation et se veut intuitif. [17]

Le logiciel SolidWorks permet de :

- Concevoir des objets en 3D de manière très précise ;
- Développer des produits ;
- Vérifier la conception des fichiers ;
- Détenir une bibliothèque des fichiers 3D ;

- Mettre en place des mises en plan 2D ;
- Créer des images et animations des objets 3D ;

### IV .3 Présentation générale du banc d'essai

#### IV.3.1 Description

Le banc d'essai comprend une pompe auto-amorçant centrifuge qui aspire l'eau du réservoir et le délivre à la turbine par l'intermédiaire de la conduite d'alimentation, ensuite l'eau après avoir sortie de la turbine il retourne dans le réservoir ainsi il fait un circuit fermé qui fait tourner l'eau (cycle fermer).

#### IV. 3.2 Différentes pièces constituante le banc d'essai

Le banc d'essai est constitué principalement d'une pompe centrifuge et des conduites pour assure le passage d'eau vers la turbine qui va être au-dessous de la conduite.

Et le tout doit être dans un bassin comme le montre la (**Figure.4.4.**) afin que la pompe aspire l'eau dans le bassin et par la suite elle le refoule vers la turbine et par la suite l'eau tombe dans le bassin pour le refouler une autre fois ainsi pour faire tourner l'eau pour former un cycle fermer

#### IV.3. 3 Conception avec SolidWorks

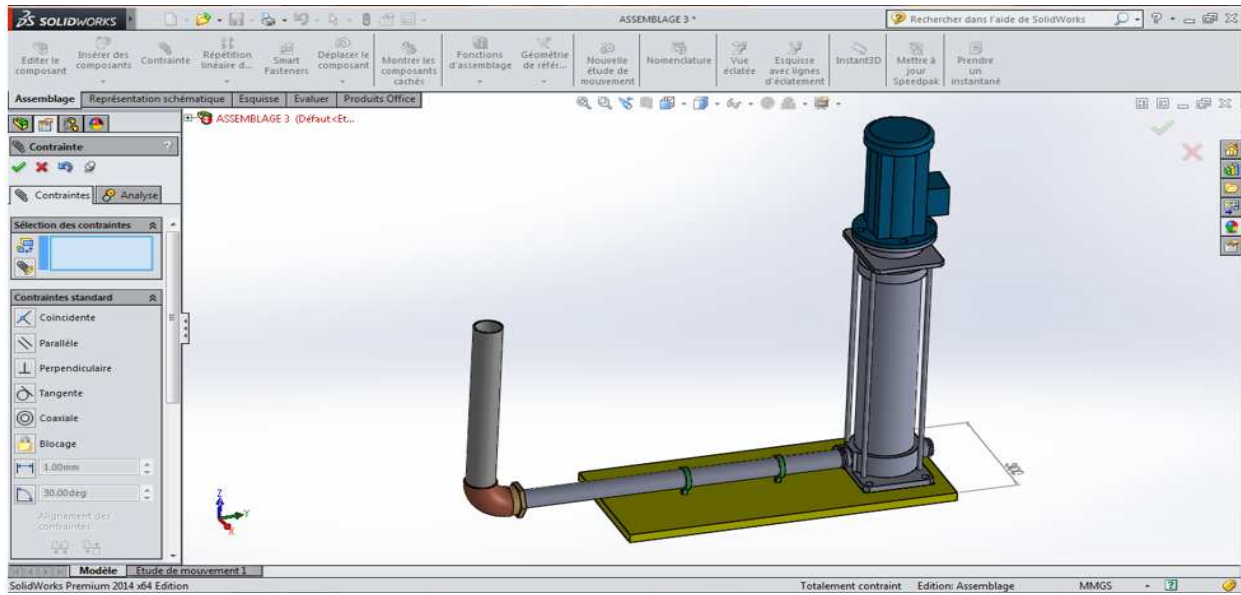
La conception avec SolidWorks nous permet de voir les différentes pièces constituantes et aussi faire un schéma explicatif des différentes procédures d'assemblage de ces pièces et les étapes suivie pour la réalisation du banc d'essai.

##### IV.3.3. a- Dessin des éléments constituant le banc d'essai

La première étape qu'on va effectuer c'est la fixation de la conduite sur la pompe, comme le montre la (**Figure.4.1**), on peut voir sur cette figure la conduite fixer sur la pompe à la sortie (le refoulement).

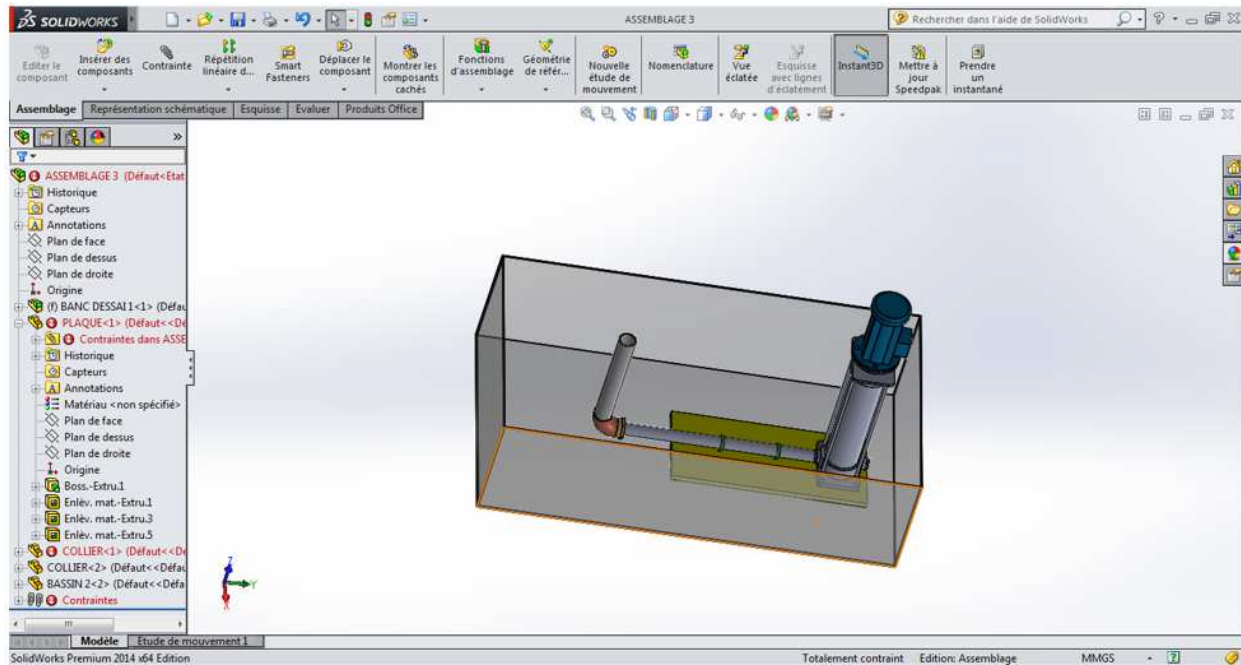
La pompe et la conduite sont fixées sur une plaque plane pour assurer le renforcement du banc d'essai.

## Chapitre IV : Réalisation du banc d'essai



**Figure.4.1.** Fixation de la conduite sur la pompe.

La deuxième étape est de mettre l'ensemble dans un réservoir étanche, comme il est illustré à la (Figure.4.2).



**Figure.4.2.** Assemblage final du banc d'essai.

### IV.3.4 Réalisation du banc d'essai sur le plan réel

Après avoir rassemblé les différentes pièces manquantes on a procédé à la réalisation du banc d'essai au sein de l'atelier de l'Université (ENGM) à Boumerdes.



**Figure.4.3.** La pompe et les conduites utilisées.



**Figure.4.4.** Photo de l'installation du banc d'essai.

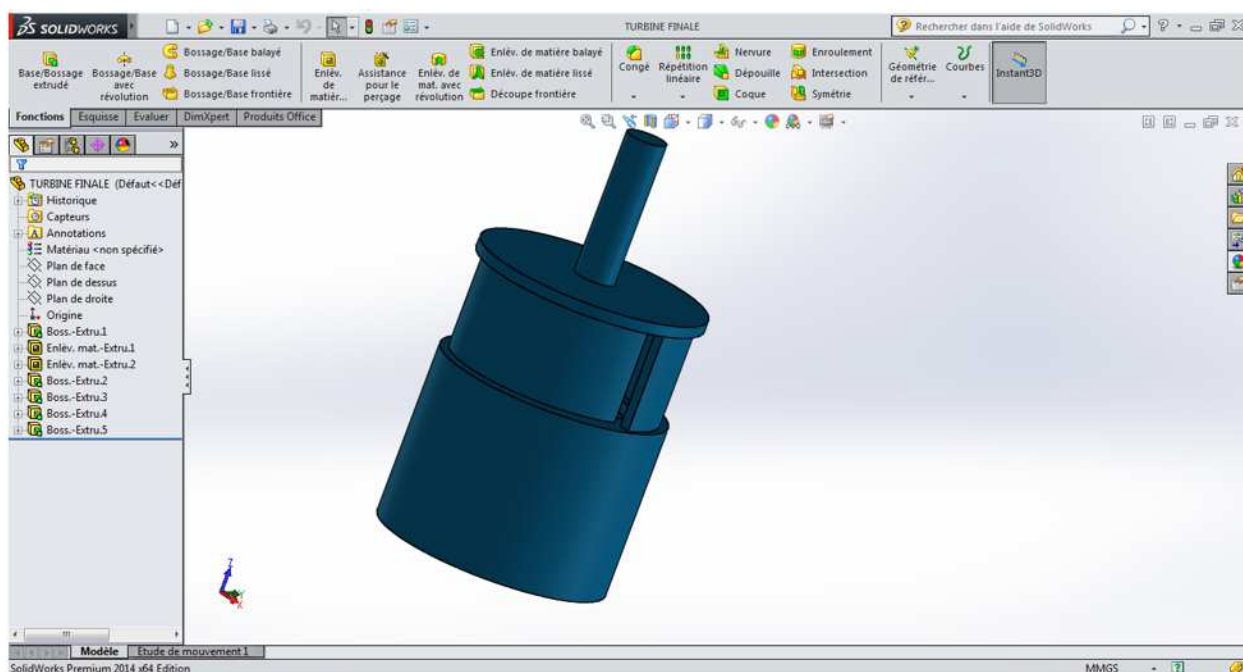
On peut voir dans cette photo (**Figure.4.4**) le banc d'essai complet et prêt à être utilisé dans le but d'effectuer des essais sur la turbine.

Aussi on peut voir les autres pièces tel que le brise charge sur le quelle on va placer une génératrice et le bassin.

### IV.4 Réalisation de la turbine

Avant de procéder à la réalisation de la turbine on doit effectuer des dessins des différentes pièces constituant la turbine à l'aide d'un logiciel qui est SolidWorks afin de faciliter la réalisation avec Les différents processus de fabrication (tournage, fraisage, perçage, soudage...)

#### IV.4.1 Dessin de la turbine avec SolidWorks



**Figure.4.5.** Dessin de la turbine réalisé avec SolidWorks.

#### IV.4.2 Fabrication et Procédés d'usinage

L'usinage s'effectue dans le but de donner aux pièces brutes la forme, les dimensions et la précision nécessaire demandée par le concepteur dans son dessin de définition, par enlèvement de copeaux sur des machines-outils appropriées. En fonction de la forme à donner à la surface et du type de la machine-outil, on distingue les procédés d'usinage suivants : le tournage, le fraisage, le perçage, le rabotage, ... etc.

Dans notre projet nous utilisons trois machines différentes qui sont le tour la fraise et la perceuse a colonne :

### a- Tournage

Le tournage est le procédé d'usinage le plus répandu, il consiste à usiner par enlèvement de métal (copeau) des surfaces de révolution cylindrique et conique, extérieures et intérieures, des surfaces profilées, des filetages ...ect, à l'aide d'un outil généralement à arête unique normalisée.

### Machine de tournage

Les mouvements cités ci-dessus sont communiquée simultanément à l'outil et à la pièce à l'aide d'une machine qu'on appelle TOUR (**Figure.4.6**). Il existe plusieurs types de tours, ils se distinguent les uns des autres par leurs formes, dimensions, précision d'usinage, puissance et capacité de productions Néanmoins, ils présentent sensiblement la même disposition générale d'agencement des organes mécaniques.



**Figure.4.6.** Tour parallèle utilisé.

### b- Fraisage

Le fraisage est, dans son principe, un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) faisant intervenir, en coordination, le mouvement de rotation d'un outil à plusieurs arêtes (mouvement de coupe) et l'avance rectiligne d'une pièce (dit mouvement d'avance). Aujourd'hui, toutefois, on a également un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, lequel peut s'effectuer pratiquement dans n'importe quelle direction. L'outil de fraisage, la fraise, comporte plusieurs arêtes de coupe dont chacune enlève une certaine quantité de métal sous forme de copeaux. Les avantages du fraisage sont un rendement élevé, un bon fini de surface et une haute précision, ainsi qu'une grande souplesse au niveau de la génération de différentes formes. Le plus souvent, le fraisage est utilisé pour produire des surfaces planes, des épaulements et des gorges.

### Fraiseuse universelle

Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions, (**Figure.4.7**) montre nous fraiseuse universelle.



**Figure.4.7.** Fraiseuse universelle qu'on a utilisée.

### c-Perçage

Le perçage est un procédé d'usinage qui consiste à obtenir un trou circulaire par enlèvement de copeaux. Le perçage est obtenu à l'aide d'un outil de coupe appelé foret. Il est animé d'un mouvement de rotation continu et d'un mouvement d'avance.

### Perceuse

Une perceuse à colonne (**Figure.4.8**) est une machine-outil d'atelier fixée sur un bâti, un établi ou au sol. Elle permet des perçages précis et importants.



**Figure.4.8.** Perceuse à colonne qu'on a utilisée.

### IV.4.3 Étapes de réalisation de la turbine

On a effectué la réalisation de la turbine au sein du hall technologique de de l'Université MOULOUD MAMMARI de Tizi Ouzou qui se situe à Oued Aissi a l'aide des machines qu'on a cité auparavant (tournage, fraisage, perçage, soudage...).

La réalisation de la turbine s'effectue en plusieurs étapes :

**1<sup>ère</sup> étape c'est le dressage :** on a effectué l'opération de dressage sur la pièce première qu'on a eu pour avoir des surface lisse, après l'avoir fixé sur la tour, Cette étape dépend de la taille, le poids et autres caractéristiques de la pièce à usiner.



**Figure.4.9.** Photo de l'étape de dressage.

**2<sup>ème</sup> étape c'est le chariotage :** on a effectué cette étape dans le but d'enlever de la matière pour avoir le diamètre et les longueurs voulue.



**Figure.4.10.** Image de l'étape de chariotage.

Après avoir fini ses deux étapes on a placé la pièce sur la scie mécanique pour la couper et avoir la hauteur voulue.



**Figure.4.11.** Image sur coupage.

## Chapitre IV : Réalisation du banc d'essai

Pour avoir la forme de la turbine on a placé la pièce qui a été coupée par la scie mécanique sur le tour pour effectuer une autre fois l'opération de chariotage après avoir dressé les surfaces qui ne sont pas lisses.

**3<sup>ème</sup> étape c'est le perçage :** les étapes précédentes nous ont permis d'obtenir le diamètre extérieur de la turbine ainsi que sa hauteur

Dans cette étape on va effectuer le perçage afin d'obtenir le diamètre intérieur de la turbine



**Figure.4.12.** Image de perçage avec le tour mécanique.

Après avoir effectué la dernière étape qui est le perçage on a obtenu le diamètre intérieur et extérieur de la turbine, et aussi en effectuant ses étapes on a obtenu les deux couvercles avec les mesures voulues.



**Figure.4.13.** Images des pièces constitutives de la turbine.

## Chapitre IV : Réalisation du banc d'essai

Dans cette image (**Figure.4.13**) on voit les quatre pièces finales de la turbine qu'on a obtenue après l'effectuation de toutes les étapes nécessaires (tournage, fraisage, perçage...ect).

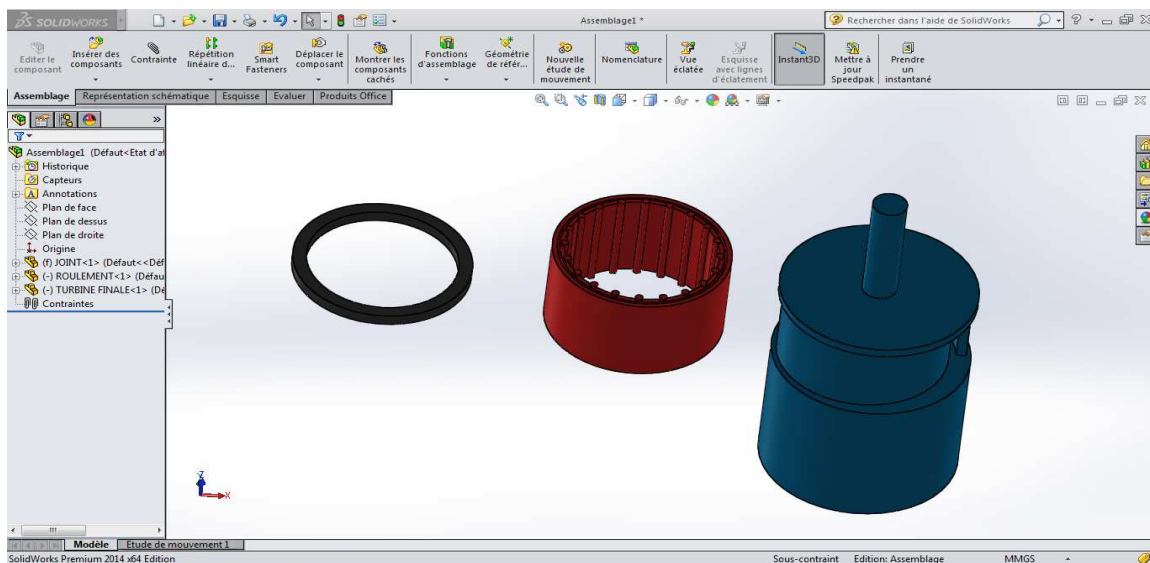
Pour finaliser la réalisation de la turbine on doit procéder à l'assemblage de toutes ses pièces, on obtient :



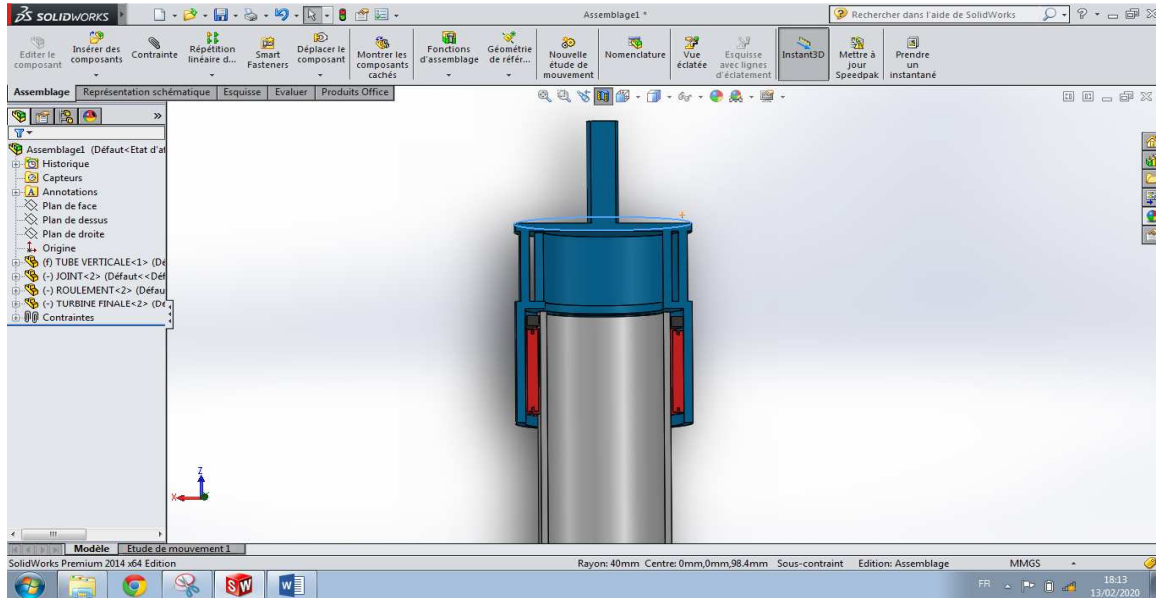
**Figure.4.14.** Assemblage de la turbine.

### IV.5 Montage de la turbine sur le banc d'essai.

Le montage de la turbine sur le banc d'essai nécessite des pièces supplémentaires, telles qu'un roulement entre la paroi extérieure du tube et la paroi intérieure de la turbine ainsi qu'un joint comme le montre la (**Figure.4.15**).



**Figure.4.15.** Pièces nécessaires pour le montage de la turbine.



**Figure.4.16.** Coupe verticale de l'assemblage de la turbine.

Également la (Figure.4.16), Montre une coupe horizontale du montage de la turbine sur le tube, les différentes pièces sont en différentes couleurs tel que :

- Joint : il est représenté par la couleur noir et il est utilisé pour assure l'étanchéité de l'ensemble et pour empêcher l'eau d'accéder au roulement
- Roulement : il est représenté par la couleur rouge, il permet à la turbine de tourner autour du tube.

### IV.5.1 Montage de roulement sur la turbine.

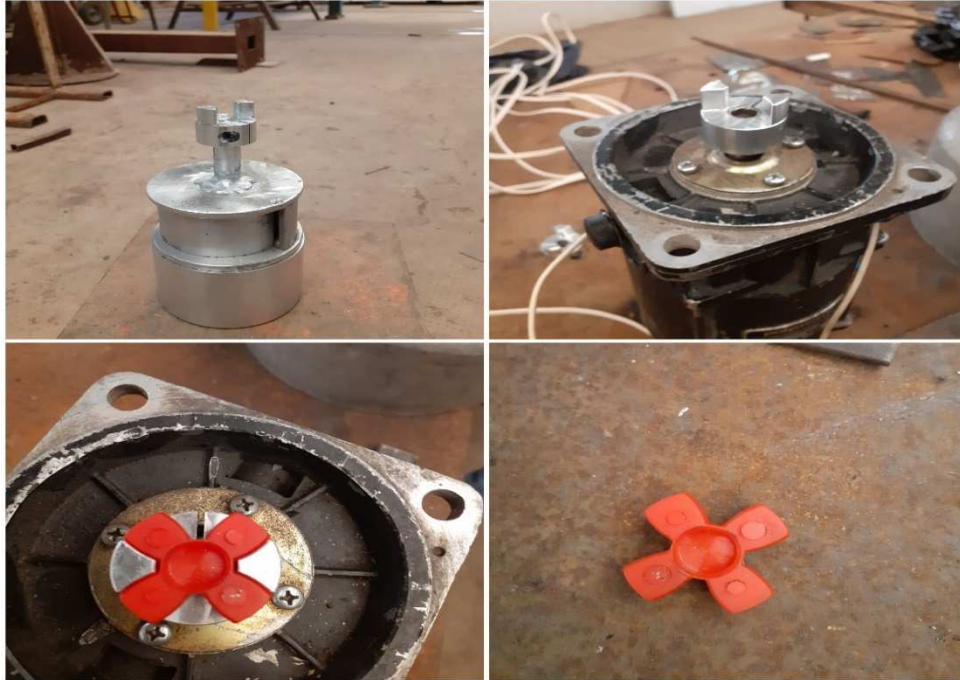
À l'aide d'une presse et un lubrifiant, on a pressé un roulement (modèle SKF NK 60/35 Germany) pour assurer le mouvement angulaire de la turbine autour de la sortie de conduite d'eau en contact avec la paroi intérieure de la partie basse de la turbine, la (Figure.4.17) montre cette étape de montage dans l'atelier de l'Université (ENGM) à Boumerdes.



Figure.4.17. Montage de roulement dans la turbine avec la presse.

#### IV.5.2 Installation de la génératrice et des instruments de mesure

Afin de récupérer l'énergie mécanique et la transformer en énergie électrique on a utilisé une génératrice à courant continu de puissance 180 W et un voltage de 150 V ainsi qu'un ampérage de 1.4 A et une vitesse maximale de 3600 tr/min.



**Figure.4.18.** Pièces pour accouplement de la turbine sur la génératrice.

Après l'accouplement de la turbine avec la génératrice comme le montre la (**Figure.4.18**), on l'installe par la suite sur le banc d'essai à l'aide des boulons pour fixer la génératrice au brise charge.



**Figure.4.19.** Installation de la génératrice.

### Les changements faits après la similitude et l'installation du banc :

- 1- Afin de faciliter le branchement de la sortie de refoulement de la pompe on a dû procéder à la réduction de diamètre de la conduite horizontal
- 2- Incorporation de joint torique au lieu de joint spi pour protéger le roulement des attaques de corrosion (modèle de joint spi adéquat dans notre cas, non disponible)
- 3- La suppression de clapet (anti-retour d'eau).

### IV.6 Les essais effectués sur la maquette.

Des essais ont été effectués sur la turbine, et on a déterminé plusieurs valeurs de courant (I) et de tension (V) à l'aide d'un ampèremètre et un voltmètre comme le montre la (**Figure.4.20**), pour calculer la puissance électrique délivrée par la turbine, en fonction de débit qui varie à l'aide d'un variateur de fréquence ou régulateur de vitesse (model : NZ100-01 R5G4 INPUT : 3PH 380V 50Hz/60Hz 1.5 KW) a été utilisé pour commander la pompe d'alimentation en eau, la vitesse de rotation de la turbine calculer grâce à la plaque d'indication de la génératrice utilisée, fixée à la turbine avec l'arbre de couplage ou d'assemblage du moteur.



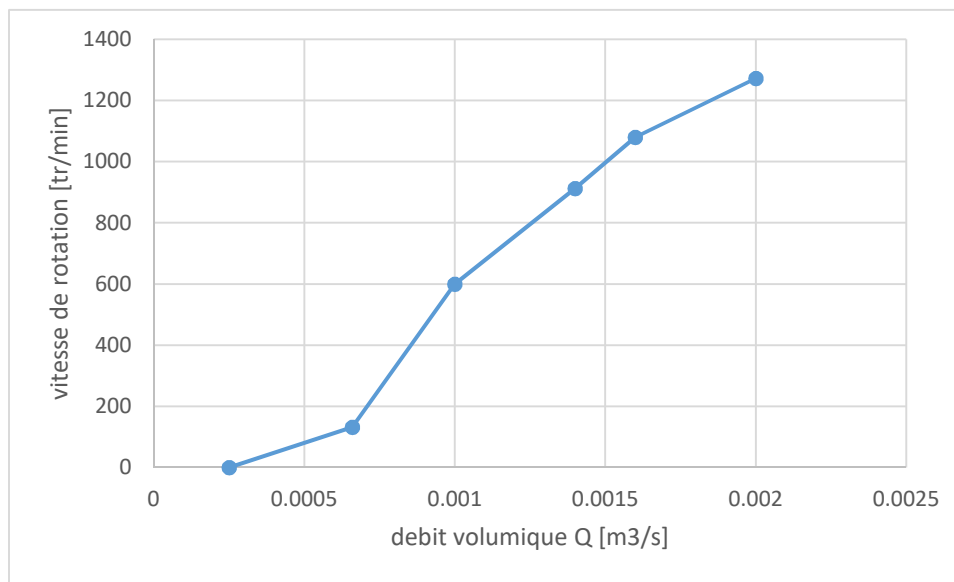
**Figure.4.20.** Ampèremètre, voltmètre et régulateur de fréquences utilisés.

Après plusieurs expériences et essais, Nous avons obtenu différents résultats pour déterminer les données les plus exactes, la performance globale de la turbine était plus au moins constante en tous temps.

Le produit de ces essais d'installation et d'expérience est présenté sous forme de tableau suivant :

Fréquence [Hz]	Débit [m <sup>3</sup> /s]	Tension [V]	Courant I [A]	Vitesse de rotation [tr/min]	Puissance [W]
10	2,5*10 <sup>-4</sup>	0	0	0	0
20	6,6*10 <sup>-4</sup>	7,5	0,03	132	0,225
30	10*10 <sup>-4</sup>	27	0,07	600	1,89
40	14*10 <sup>-4</sup>	40	0,075	912	3
50	16*10 <sup>-4</sup>	47	0,08	1080	3,76
60	20*10 <sup>-4</sup>	55,6	0,085	1272	4,726

**Tableau 4.1.** Résultats obtenus dans les essais.

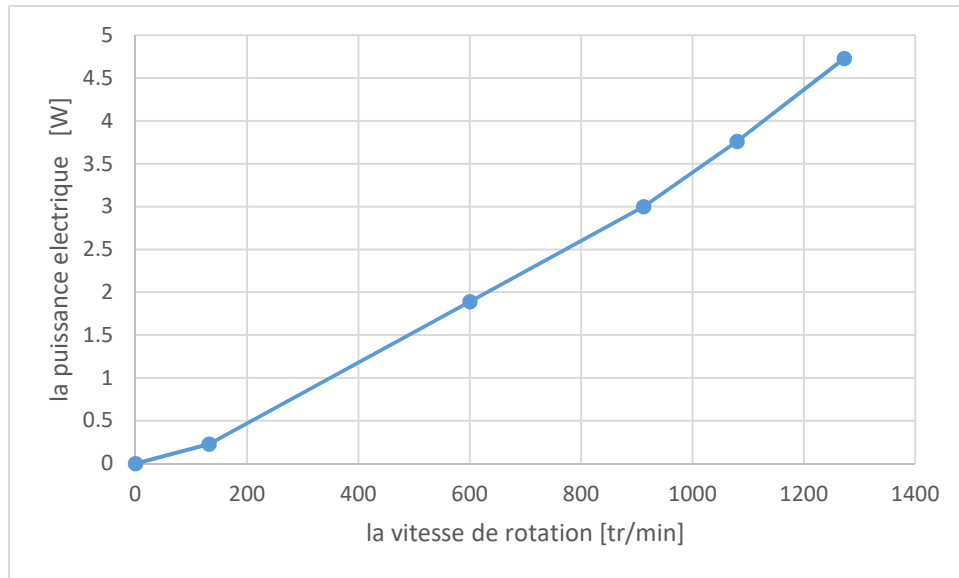


**Figure 4.21.** La vitesse de rotation de la turbine entraînée par le débit commandé dans les essais.

Dans cette figure (**Figure 4.21**) on remarque clairement la dépendance de la vitesse de rotation de la turbine par-rapport au débit volumique.

L'augmentation de débit volumique traversant la turbine suivie avec l'augmentation de la vitesse de rotation.

Pour un débit moyen de  $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , suffisant pour causer la rotation de la turbine à une vitesse de 132 tr/min et elle atteint une vitesse maximum de 1272 tr/min pour un débit de  $20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figure 4.22.** La puissance électrique délivrée par la turbine par-rapport à sa vitesse de rotation.

La (**figure 4.22**) montre la courbe de puissance électrique mesurée pour le modèle de turbine à eau de réaction avec un diamètre de rotor de 61mm (0,061m) et une surface totale de sortie des buses de  $1,046 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , avec deux buses d'une largeur de 03,05mm (0,00305m) et d'une hauteur de 34,317mm (0,034317m) chacune.

La (**figure 4.22**) montre que la puissance électrique augmente avec l'augmentation de la vitesse de rotation jusqu'au point maximale, l'expérience nous a montré que dans les essais d'installation en série d'une lampe de 24 volts brûlée pour une vitesse de rotation de 1272 tr/min.

### Conclusion

Après la réalisation et l'installation de la maquette, on a procédé à sa mise en marche dans le but d'effectuer des essais sur l'ensemble.

Les résultats obtenus nous ont permis d'évaluer l'énergie électrique produite par la turbine à l'échelle laboratoire, ainsi on déduit l'énergie maximale qu'elle peut produire en fonction de débit maximal de la pompe, les résultats obtenus sont remarquables mais ces derniers peuvent augmenter avec une autre installation optimisée et avec des matériaux plus performants.

# **Conclusion générale**

## Conclusion Générale

Dans cette étude, nous nous sommes fixés pour objectif de récupérer l'énergie hydraulique résiduelle de la centrales de traitement des eaux Koudiet Acerdoune. Cette centrale possède quatre brises charges implantées exclusivement à l'extrémité de la conduite qui alimentent les bassins pour passer à l'étape de traitement par la suite. L'eau qui arrive depuis le barrage avec un débit maximal butte sur la partie supérieur du brise charge qui est sous forme d'une cloche pour diminuer sa force et facilité à l'eau de s'introduire dans le bassin. L'énergie potentiellement récupérable dans ce brise charges est proportionnelle à la hauteur de la chute, et au débit total d'eau rejetée qui est approximativement constant. Les débits de ces brises charges étant toujours très grands, donc il y a de l'énergie à récupérer sur chaque brise charges. L'énergie à récupérer est intéressante.

Nous avons estimé le potentiel hydroélectrique de la centrale, pour laquelle nous avons sélectionné le type de turbine suggérer, dimensionné les éléments principaux de cette dernière et choisi les équipements électromécaniques appropriés. Ensuite, une étude sur un prototype réduit est envisagée, le projet a révélé que la hauteur de chute joue un rôle très important sur les dimensions et sur le rendement de la turbine.

En effet, on a choisi une turbine qui n'est pas normalisé et qui ne se trouve pas sur le marché. Nous l'avons choisie par rapport à sa rentabilité, sa réalisation et son entretien, Ce travail à pour but d'étudier la faisabilité de ce projet sur le plans réel, c'est à dire, dans la central de traitement des eaux de Koudiet Acerdoune a la sortie du brise charge. Nous avons, dans un premier temps, effectué une étude sur un prototype réduit à l'échelle laboratoire pour estimer la production de cette turbine. Dans un deuxième temps, nous avons procédé à quelques essais. Quelques résultats préliminaires, concernant la puissance électrique délivrée en fonction de la vitesse de rotation de la turbine ainsi que la vitesse de rotation en fonction du débit d'eau, sont obtenu.

Nous souhaitons que ce travail puisse intéresser des industriels et des entreprises pour améliorer et exploiter cette étude.

Il serait très intéressant de reprendre cette étude, et de dimensionner avec plus de précision les installations et les équipements pour estimer la production d'électricité réelle de la turbine.

# BIBLIOGRAPHIE

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHARLES.K, PREFEASIBILITY STUDIES FOR MINI HYDRO POWER GENERATION ON KINTAMPO FALLS. Thesis submitted to the Graduate School, Kwame Nkrumah University of Science and Technology In partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science Renewable Energy Technologies Department of Mechanical Engineering College of Engineering, 2013.
- [2] LESCANO.S, GIRARD.S, Eléments de micro hydraulique Rapport de projet industriel 2/3. 24/03/2009.
- [3] IPEX, Caractéristiques Hydrauliques du PVC, Bulletin d'information Technique. Canada.
- [4] PAGES.JM. Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité : Connaitre pour agir, Rouland, 2003, 150p.
- [5] ANIL, Kunwor. Technical Specifications of Micro Hydro Systems Design and its Implementation: Feasibility Analysis and Design of Lamaya Khola Micro Hydro Power Plant. 60p. Bachelor's Degree Program in Industrial Management. 2012.
- [6] CHAPALLAZ J-M, EICHENBERGER P. Guide pratique pour la réalisation de Petites centrales hydrauliques. PACER, 1992, 96p. ISBN 3-905232-20-0.
- [7] JORDE, Klaus, avec les ressources d'Entec AG, Bons et Mauvais exemples d'une Mini-Centrale Hydroélectrique: Roman Ritter GTZ, 2009, 229p.
- [8] EL BASSAM.N, Maegaard.P, LAWTON SCHLICHTING.M, Hydropower. In: Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities. Elsevier Inc, 2013.
- [9] KUMAR.R, SINGAL.S.K, Operation and Maintenance problems in hydro turbine material in small hydro power plant. 4th International Conference on arterials Processing and Characterization. Materials Today: Proceedings 2, 2015, 2323-2331.
- [10] NASIR, Bilal Abdullah. Suitable Selection of Components for the Micro-Hydro-Electric Power Plant. Advances in Energy and Power 7-12, 2014.
- [11] U.S. Department of Energy. Energy efficiency and Renewable Energy Wind and Hydropower Technologies Program. 09/08/2005.
- [12] I.Martin M.Blanco, notice de montage et entretien; robinet a disque sous capot, ENAR Technologia Del Agua 16/10/2008.

- [13] José. VAZQUEZ. Hydraulique général (laboratoire système hydraulique urbaine) ENGEES. Ecole national de génie de l'eau et du l'environnement de STRASBOURG 2000.
- [14] F.Neer/ J-M Chapallaz, ingénieur EPFL/SIA, 1400 Ste-croix. Le choix, le dimensionnement et les essais de conception d'une mini turbine, programme d'action PACER, 3003 berne aout 1995.
- [15] Date, A. & Akbarzadeh, A. (2010). Design and analysis of a split reaction water turbine. *Renewable Energy*, 35(9), 1945-195.
- [16] Date, A. & Akbarzadeh, A. (2009). Design and cost analysis of low head simple reaction hydro turbine for remote area power supply. *Renewable Energy*, 34(2), 409-415.
- [17] SAIM Ahmed & BOUZIANE Abdenour. Etude et réalisation d'une machine de traction manuelle. Mémoire de Master en construction mécanique. Université de Tlemcen. 2018. 73p