



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET PUBLIQUE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master en Mécanique

Option : Energétique / Installation Energétique et Turbo Machine

Dimensionnement D'une Turbine Hydroélectrique
Pour Récupération D'énergie Dans La Station de
Pompage MAZAFRAN (SP3)

Réalisé par :

BELKHOUMALI Abderrahmane

RAHALI Abderrahmane

Encadré par :

Pr. ROUDANE Mohamed

Année universitaire : 2024/2025

DEDICACE

Je dédie ce travail

*à mes parents, qui m'ont soutenu et encouragé tout au
long de mes années d'études.*

*J'espère qu'ils y trouveront l'expression de ma profonde
gratitude.*

*À mes frères, qui ont partagé avec moi chaque instant
touchant de la réalisation de ce travail.*

À tous mes amis, à qui je souhaite plein succès.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu qui m'a donné le courage et la volonté de poursuivre ce travail.

Je voudrais remercier mon promoteur, le professeur ROUDANE Mohamed, pour sa patience et sa disponibilité et qui m'a tant apporté, et je voudrais le remercier pour ses éclaircissements, son soutien.

Je remercie également les membres du jury d'avoir pris le temps d'examiner et d'évaluer mon travail.

Je remercie également Mr Ketfi Mahfoud pour son soutien et ses conseils.

Je tiens à remercier Mr BOUASLA Khaled, ingénieur en hydraulique, qui m'a aidé beaucoup et m'a fourni les données dont j'avais besoin.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre à réaliser cet humble travail.

Résumé

Cette étude vise à récupérer l'énergie hydraulique à son arrivée à la station de pompage grâce à des turbines, au lieu de la dissiper comme c'est le cas actuellement par des réducteurs de pression hydrauliques. Une étude analytique sera donc menée afin de déterminer la faisabilité du projet et d'évaluer le potentiel hydroélectrique disponible. Cette étude comprendra le fonctionnement de ces turbines, le choix de la turbine la plus adaptée et le calcul de ses dimensions. Après étude de l'option la plus appropriée et optimale, la turbine Francis s'avère la plus performante en termes de performance énergétique.

الملخص

هذه الدراسة تهدف الي استعادة الطاقة المياه عند وصولها الي محطة ضخ المياه عن طريق العنفات ,بدلا من تبديدها كما هو الحال حاليا عن طريق مخفضات الضغط الهيدروليكية . لذلك سيتم اجراء دراسة تحليلية لامكانية تجسيد المشروع و دراسة تقييمية للامكانيات الكهرومائية المتوفرة و ستشمل هذه الدراسة عمل هذه التوربينات واختيار التربين المناسبة لها و حساب ابعادها بعد دراسة الخيار المناسب و امثل هو توربين نوع فرانسيس من حيث الاداء الطاقوي

Abstract:

This study aims to recover hydraulic energy upon arrival at the pumping station using turbines, instead of dissipating it as is currently the case through hydraulic pressure reducers. An analytical study will therefore be conducted to determine the feasibility of the project and assess the available hydroelectric potential. This study will include the operation of these turbines, the choice of the most suitable turbine and the calculation of its dimensions. After studying the most appropriate and optimal option, the Francis turbine proves to be the most efficient in terms of energy performance.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE PROJET ET PROBLEMATIQUE.....	2
<u>Introduction</u>	2
1.1 Hydroélectricité	2
1.1.1 Production hydroélectrique dans le monde	3
1.1.2 Production hydroélectrique en Algérie	4
1.1.3 Les avantages et les inconvénients	6
1.2 Station dessalement de l'Eau de Mer Fouka 2	7
1.2.1 Définition et Importance du Dessalement de l'Eau de Mer	7
1.2.2 Localisation et Capacité de Production	8
1.2.3 Technologie Utilisée	8
1.2.4 Impact sur la Sécurité Hydrique	9
1.2.5 Défis et Contraintes	9
1.2.6 Perspectives d'Amélioration	9
1.3 Station de pompage (SP3)	10
1.4 Problématique	10
<u>Conclusion</u>	11
CHAPITRE 2 : SYSTEMES DE CONTROLE DE PRESSION ET PRESENTATION DES TURBINES HYDRAULIQUES.....	12
<u>Introduction</u>	12
2.1 Présentation du site	12
2.2 Station de pompage SP3	14
2.3 Les systèmes de contrôle de pression	15
2.3.1 Technologies et modes de gestion de la pression dans les réseaux	15
2.3.2 Contrôle de pression par système mécanique	16
2.3.3 Brise charge	19
2.3.4 Bassin de dissipation	21
2.3.5 Critères de sélection de l'obturateur	21
2.3.6 Robinet à disque auto-centreur	22
2.4 Principe de fonctionnement d'une centrale hydro-électrique	25
2.5 La turbine hydraulique	26
2.5.1 Différents types de turbines hydrauliques	26
2.5.2 Choix du type de turbine	31
2.6 Notre option	32
<u>Conclusion</u>	33

CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA TURBINE ETUDIE	34
<u>Introduction</u>	34
3.1 Dimensionnement de roue (turbine Francis)	35
3.1.1 Choix de la forme de roue	35
3.1.2 Choix du nombre d'aubes	39
3.1.3 Détermination de la hauteur des aubes directrices	40
3.2 Calcul de la hauteur théorique	42
3.3 Calcul de la puissance et de l'énergie annuelle produite	43
3.4 Dimensionnement des éléments fixes des turbines	44
3.4.1 Dimensionnement des volutes	44
3.5 Étude comparative entre la production annuelle d'énergie électrique et la consommation de la station de pompage SP3.....	49
<u>Conclusion</u>	49
CONCLUSION GENERALE.....	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Centrales recensées en Algérie	4
Tableau 1.2: Production hydroélectrique en Algérie	5
Tableau 3.1: Données hydraulique de simulation de la conduite du tronçon gravitaire	36
Tableau 3.2: Vitesse spécifique et Vitesse de rotation des turbines	36
Tableau 3.3: Tableau récapitulatif des diamètres de la roue Francis pour les trois options considérées	39
Tableau 3.4: Tableau récapitulatif des différents paramètres calculés précédemment	42
Tableau 3.5: Hauteur théorique et rendement hydraulique pour la turbine Francis	42
Tableau 3.6: Rendement des alternateurs suivant la puissance nominale	43
Tableau 3.7: Rendements des différents équipements pour le option considérée	43
Tableau 3.8: Puissances théoriques et énergies annuelles produites	44
Tableau 3.9: Valeurs du rayon du cercle tangent aux sections droites de la volute	44
Tableau 3.10: Valeurs des différents diamètres de la volute en chaque position présentée précédemment	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Capacité hydroélectrique dans le monde en 2018 (Hydroélectricité, s. d.)	3
Figure 1.2: La Station de Dessalement de Fouka 2	8
Figure 1.3: Rejet de l'eau salé	9
Figure 1.4: Centre de production MAZAFRAN	10
Figure 2.1: Schéma de réseaux réservoir sahal vers mazafran	12
Figure 2.2: Schéma de la forme de conduite	13
Figure 2.3: Photo réel de la conduite	15
Figure 2.4: Photo satellite de la station de pompage (SP3)	14
Figure 2.5: Vanne de régulation de pression munie d'un dispositif de by-pass et d'un débitmètre	15
Figure 2.6: Réducteur de pression	16
Figure 2.7: Vanne régulateur de pression aval	17
Figure 2.8: Les éléments de la vanne principale à membrane	18
Figure 2.9: Schéma de fonctionnement de la vanne de régulation	18
Figure 2.10: Brise charge avec jet débouchant à l'air libre	19
Figure 2.11: Brise charge avec contre poids liquide	20
Figure 2.12: Robinet à disque auto-centreur sous capot	22
Figure 2.13: Les deux robinets brise-charge	23
Figure 2.14: Principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique	28
Figure 2.15: Schéma d'une turbine à action avec ses paramètres de fonctionnement et ses composants.	27
Figure 2.16: Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton.	28
Figure 2.17: Turbine Crossflow (ADEME, 2003)	28
Figure 2.18: Schéma d'une turbine à réaction	29
Figure 2.19: Principe de fonctionnement d'une turbine Francis	30
Figure 2.20: Principe de fonctionnement d'une turbine Kaplan	31
Figure 2.21: Diagramme de choix des types de mini-turbine (SHEMA, 2010)	31
Figure 2.22: Sélection du type de turbine pour l'option.	32
Figure 3.1: Abaque et corrélation permettant d'estimer la vitesse spécifique d'une turbine si on connaît la hauteur nette	36

Figure 3.2: Abaque permettant le choix adapté de la forme de la roue de la turbine Francis en fonction de la hauteur nette et de la vitesse spécifique [18][17]	38
Figure 3.3: Schéma de la roue Francis avec les diamètres caractéristiques [17][18].....	38
Figure 3.4: Schéma de la roue Francis montrant l'entrée 1 et la sortie 2 de la roue, la hauteur des aubes directrices B et la hauteur d'aspiration H	40
Figure 3.5: Triangle des vitesses à l'entrée de la roue Francis.....	41
Figure 3.6: Section droite d'une volute circulaire.....	45
Figure 3.7: Position de fermeture et d'ouverture maximale des aubes directrices du distributeur.....	47
Figure 3.8: Différentes sections de la volute situées à 45° les unes des autres et dont les rayons sont donnés au tableau (3.10)	48

NOMENCLATURE

Symboles

B	Hauteur des aubes directrices, Dimension.	m
B	Distance	m
C	Coefficient de débit de Hazen-Williams, Vitesse absolue, Distance	m/s, m
C_u	Une composante circonférentielle	m/s
C_r	Une composante radiale	m/s
D	Diamètre, Dimension	m
E	Energie	kWh
F	Fréquence	Hz
g	Constante de gravité	m/s ²
H	Hauteur	m
k	Coefficient de perte charge	-
L	Longueur	m
N	Vitesse de rotation	tr/min
N	Vitesse de rotation	tr/s
N_q	Vitesse spécifique	-
N_s	Vitesse spécifique	-
P	Pression	w
P_{hy}	Puissance hydraulique	w
P	Nombre de paires de pôles, Prime de risque de marché	-
Q	Débit	m ³ /s
q	Débit	m ³ /s
r	Rayon, Distance	m, m
S	Section	m ²
U	Vitesse Périphérique	m/s
V	Vitesse	m/s
W	Vitesse relative	m/s
Z	Nombre de dents	-
P	Puissance	kW
α	Angle	°

B	Unlevered Beta	%
γ	Angle	°
δ	Coefficient qui prend en considération l'épaisseur des aubes	—
η	Rendement	%
Θ	Angle	°
ξ	Facteur d'efficacité	%
ρ	Masse volumique de l'eau	kg/ m3
φ	Coefficient de vitesse	—
ω	Vitesse de rotation	rad/s
Γ	Circulation	m2/s

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

La majeure partie de l'électricité provient du gaz naturel. Dans les pays en développement, c'est une ressource limitée. D'autre part, les énergies renouvelables proviennent de sources diverses.

Elle est inépuisable et toujours disponible, ne produit aucun déchet ni émission polluante et contribue à lutter contre le réchauffement climatique et les émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère

L'énergie hydroélectrique est une forme d'énergie renouvelable.

Couvre 19 % de la consommation mondiale d'électricité. Que ce soit par le biais de grandes ou de petites centrales hydroélectriques Il convient de noter que le Brésil, les États-Unis, le Canada et la Norvège produisent de grandes quantités d'électricité grâce à d'immenses installations hydroélectriques.

Il convient toutefois de noter que de nombreuses régions du monde utilisent l'énergie hydraulique à petite échelle pour répondre à leurs besoins en électricité, comme la Chine, bien qu'elle possède la plus grande centrale hydroélectrique du monde.

De plus, il existe différents types de turbines hydrauliques permettant d'exploiter l'énergie hydraulique et de la convertir en énergie électrique.

D'où la nécessité d'explorer ce domaine et son importance pour les ingénieurs, et de mieux comprendre et maîtriser les outils de conception et de contrôle de ce type de machine afin de l'utiliser au mieux de ses capacités.

Le cadre principal abordé dans ce travail est l'étude des turbines hydrauliques qui sont largement utilisées dans les environnements géographiques de petite et moyenne taille car elles ne nécessitent pas de hauteur très élevée.

Dans le premier chapitre, nous discuterons de la définition de l'énergie hydroélectrique, et la production dans le monde et en Algérie.

Quant au deuxième chapitre, nous avons parlé sur le site de l'installation, il traitait de la définition des systèmes de dissipation de la pression et de leurs types, ainsi que des types de turbines et du choix de la turbine adapter.

Les éléments principaux de la turbine sélectionné seront dimensionné dans le troisième chapitre.

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE PROJET ET PROBLEMATIQUE

Introduction

L'hydroélectricité est l'une des énergies les plus renouvelables dans la production d'électricité et représente 15% de l'énergie électrique produite dans le monde. On peut aussi la considérer comme l'une des énergies les moins chères et les plus pures. Les centrales hydroélectriques sont des éléments clés pour le développement de nouvelles énergies renouvelables, sa production n'entraîne pas d'émissions de CO₂ et ne génère pas de déchets toxiques. Les ressources hydriques sont des énergies primaires gratuites et peuvent contribuer à la sécurisation de l'approvisionnement en électricité du pays [1].

Ce chapitre sera consacré à la définition de l'hydroélectricité en général et après définition station de dessalement de l'eau de mer Fouka 2 et station de pompage de Mazafran (SP3)

1.1 Hydroélectricité :

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

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

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

Dans le monde, une quarantaine de pays produisent plus d'un cinquième de leur électricité grâce à l'énergie de l'eau. Une vingtaine de pays, dont six en Europe (Norvège, Islande, Autriche, Suisse, Lettonie et Croatie), produisent plus de la moitié de leur électricité grâce à l'hydraulique. Contrairement à une idée reçue, les plus grands producteurs d'hydroélectricité ne sont pas des pays de montagne, mais des pays traversés par de nombreux fleuves et des rivières à gros débit et qui bénéficient, de ce fait, d'une ressource abondante. [2]

La production hydroélectrique est en croissance continue dans le monde, passant d'environ 1000TWh/an en 1965 à plus de 4300TWh/an en 2022. [3]

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

1.1.1 Production hydroélectrique dans le monde :

Avec la mobilisation accrue de nouvelles sources, les énergies renouvelables sont de plus en plus diversifiées. L'hydroélectricité est l'énergie renouvelable la plus courante, représentant 86,3 % de l'ensemble des énergies renouvelables. [4]. L'utilisation des précieuses ressources en eau comme source d'énergie renouvelable est en augmentation dans les pays développés et en développement. D'après une étude menée par le 1Worldwatch Institute, la consommation mondiale d'hydroélectricité a connu une hausse de plus de 5 % entre 2009 et 2010. Elle a atteint un niveau record de 3 427 TWh à la fin de 2010, représentant plus de 16,1 % de la consommation mondiale d'électricité, poursuivant ainsi la tendance à la hausse amorcée en 2003. La capacité des centrales hydroélectriques a atteint 1 292 GW en 2018, produisant environ 4 200 TWh/an, soit 70 % de la production mondiale d'énergie renouvelable et 15,8 % de la production mondiale d'électricité. L'hydroélectricité présente les avantages d'être renouvelable, peu coûteuse à exploiter et peu émettrice de gaz à effet de serre ; la capacité de stockage de ses réservoirs permet de compenser les variations de la demande ainsi que les sources d'énergie intermittentes (éoliennes, solaires). [4]

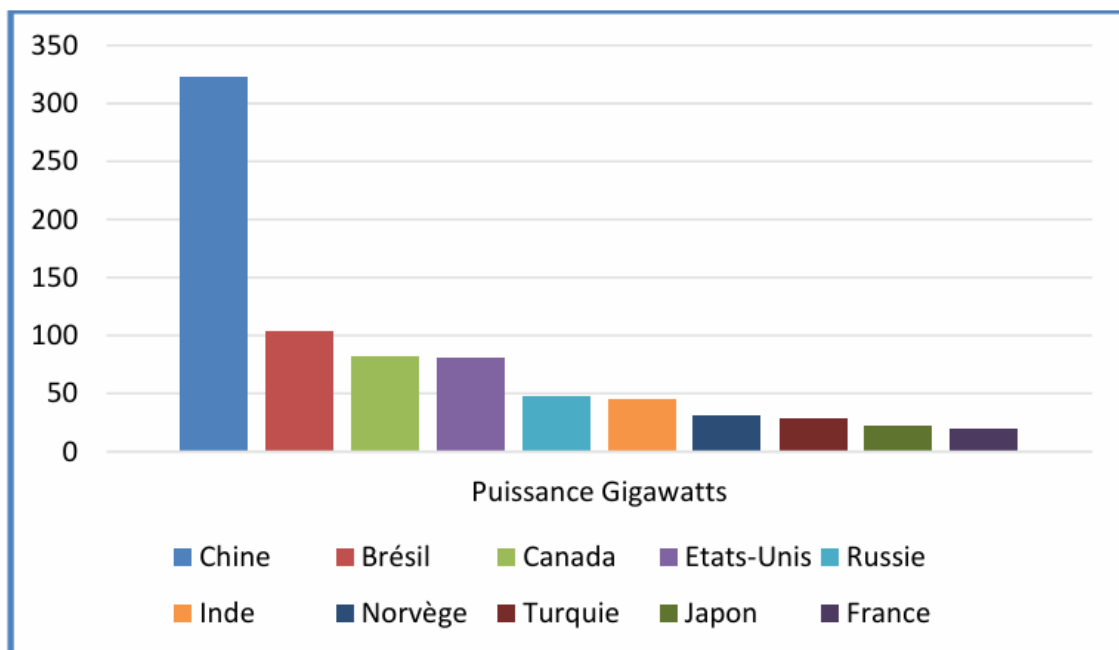


Figure 1.1: Capacité hydroélectrique dans le monde en 2018 [5]

Le graphique de la figure représente la capacité hydroélectrique dans les différents pays en 2018, mesurée en gigawatts. La Chine avait une capacité hydroélectrique d'environ 320 gigawatts cette année-là, ce qui en fait le plus grand producteur d'hydroélectricité au monde. En 2018, le Brésil s'est classé deuxième avec plus de 100 gigawatts de capacité hydroélectrique.

Avec 81 gigawatts de capacité hydroélectrique, le Canada est arrivé en troisième position. (Hydroélectricité, s. d.) La production d'énergie décentralisée en Afrique est actuellement dominée par les combustibles fossiles, notamment les générateurs à moteur diesel, qui émettent des gaz à effet de serre et polluent l'environnement.[6] À l'exception de quelques nations comme l'Éthiopie, le Malawi, le Mozambique, la Namibie et la Zambie, les sources d'énergie propres, comme l'hydroélectricité, représentent 90 % de leurs ressources énergétiques.

1.1.2 Production hydroélectrique en Algérie : Actuellement, la quasi-totalité de l'électricité algérienne est produite à partir de combustibles fossiles (99,6 %). Le reste est fourni par des sources d'énergie renouvelables, se répartissant entre l'hydroélectricité (0,4 % du total) et l'énergie solaire (0,01 % du total). La croissance des énergies renouvelables a été considérablement ralentie en raison des énormes réserves de combustibles fossiles du pays et de l'absence de règles environnementales. [7]

Tableau 1.1: Centrales recensées en Algérie [8]

Nom de la centrale	La région	Année de mise en service
Ighzer N'chebec	Tizi Ouzou	1934
Tizi Medden	Tizi Ouzou	1948
Illiten	Tizi Ouzou	1927
Souk el Djemaa	Tizi Ouzou	1949
Hamiz	Boumerdès	1946
Ggouriet	Tizi Ouzou	1949
Ponteba	Oran	1940
Ghrib	Ain Defla	1942
Tessala	Ain Temouchent	1952
Bakhadda	Relizane	1948
La mina	Relizane	1933
Perregaux (Mohamadia)	Mascara	1947
Ain Fekan	Mascara	1933
Benibehdel	Telemcen	1948
Négrier	Tebessa	1920
Irilmada	Bejaia	1953
Foum El Gherza	Biskra	1953
Rhumel	Constantine	1910

Agrioun	Bejaia	1951
Ighzerouftis	Bejaia	1950
Oued Fodda	Chlef	-
Bouhanifia	Mascara	1949
Mansouria (Erraguene)	Jijel	-

La capacité électrique nationale a dépassé les 8400 MW, la capacité en énergies renouvelables n'atteignant que 2,4 MW (année 2007). Compte tenu des enjeux que représentent aujourd'hui ces sources d'énergie durables, leur promotion constitue l'un des premiers axes de la politique énergétique et environnementale du pays. L'Algérie, quant à elle, dispose d'atouts non négligeables, notamment un important potentiel d'énergies renouvelables et une stratégie énergétique qui favorise un approvisionnement plus constant de l'équilibre national en énergies renouvelables. Après avoir atteint un pic en 2009, la production hydroélectrique du pays a considérablement diminué en 2010, ce qui a entraîné un niveau de production inférieur à la norme pour la même période. Depuis, le gouvernement a choisi d'abandonner la production d'énergie à travers les centrales hydroélectriques et consacrer les barrages produisant de l'électricité à l'irrigation et à l'alimentation de la population en eau potable. [7]

Tableau 1.2: Production hydroélectrique en Algérie [9]

Centrale	Puissance installée (MW)
Darguina	71,5
Ighil emda	24
Mansoria	100
Erraguene	16
Souk el djemaa	8.085
Tizi meden	4.458
Ighzer nchebel	2.712
Ghrib	7
Gouriet	6.425
Bouhanifia	5.7
Oued fodda	15.6
Beni behdel	3.5
Tessala	4.228
Total	286

1.1.3 Les avantages et les inconvénients :

1.1.3.1 Avantages :

- **L'énergie hydraulique est renouvelable :**

L'eau turbinée et produisant une énergie hydroélectrique est restituée et peut être utilisée à d'autres fins

- **L'énergie hydraulique est non polluante :**

L'énergie hydraulique est obtenue à travers un processus physique qui n'est accompagné d'aucun dégagement de matière polluante. Nous avons ainsi affaire à une énergie propre.

- **L'énergie hydraulique est fiable :**

. L'hydroélectricité est une source d'énergie primaire dans les pays où les ressources hydroélectriques sont abondantes. L'électricité peut être produite tant qu'il y a de l'eau.

- **L'énergie hydraulique est flexible :**

Le débit d'eau et la production d'électricité peuvent tous deux être facilement réglés. Le débit d'eau est réduit lorsque la consommation d'énergie est faible, tandis que le niveau du réservoir est maintenu lorsque la consommation d'énergie est élevée.

- **L'énergie hydraulique est sûre :**

L'hydroélectricité est beaucoup plus sûre que les combustibles fossiles et l'énergie nucléaire, entre autres. Il n'y a pas besoin d'essence. [10]

1.1.3.2 Inconvénients :

- **Les conséquences sur l'environnement de l'énergie hydraulique :**

Les effets de l'hydroélectricité sur l'environnement sont liés aux interventions humaines dans la nature, et cela à travers la construction de barrages, de routes et de lignes électriques.

Les poissons et leur comportement, notamment en matière de reproduction, peuvent être influencés par les centrales hydroélectriques. De nombreuses variables physiques et biologiques interagissent de manière complexe.

- **L'énergie hydraulique est coûteuse :**

Le coût de la construction d'une centrale électrique est généralement élevé. Les centrales hydroélectriques ne sont pas différentes. Ces centrales, en revanche, ne demandent pas beaucoup d'efforts et ont des frais d'entretien peu élevés.

- **L'impact climatologique sur l'énergie hydraulique :**

La quantité d'eau disponible a un impact direct sur la production d'électricité et les prix de l'énergie. En cas de sécheresse, il n'y a rien d'autre à faire que d'attendre que la pluie vienne de l'amont.

Si l'énergie hydraulique est la principale source d'énergie, une source d'énergie de secours doit toujours être disponible.[10]

1.2 Station dessalement de l'Eau de Mer Fouka 2 :

L'eau est une ressource essentielle, mais sa disponibilité est une problématique majeure dans de nombreux pays, en particulier ceux du pourtour méditerranéen et du Maghreb. L'Algérie, confrontée à des périodes de sécheresse et à une demande croissante en eau potable, a investi dans des stations de dessalement de l'eau de mer. Parmi elles, la station de Fouka 2, située dans la wilaya de Tipaza, joue un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau des régions avoisinantes, y compris Alger et Blida.

Ce travail vise à définir le dessalement en général et à détailler le cas particulier de la station Fouka 2, en abordant son importance, son fonctionnement et son impact sur la gestion de l'eau en Algérie.

1.2.1 Définition et Importance du Dessalement de l'Eau de Mer

Le dessalement est le processus permettant de retirer le sel et d'autres minéraux de l'eau de mer ou des eaux saumâtres afin de les rendre potables. Ce procédé est principalement utilisé dans les régions arides où les ressources en eau douce sont insuffisantes.

Les techniques de dessalement les plus courantes sont :

- L'osmose inverse : une membrane semi-perméable sépare l'eau du sel sous haute pression.
- La distillation thermique : l'eau est évaporée, puis condensée pour être récupérée sous forme d'eau douce.

L'Algérie est l'un des pays leaders en Afrique dans le domaine du dessalement, avec plusieurs stations opérationnelles, dont celle de Fouka 2, qui renforce l'approvisionnement en eau potable dans la région d'Alger.



Figure 1.2: La Station de Dessalement de Fouka 2

1.2.2 Localisation et Capacité de Production

La station de Fouka 2 est située à Fouka, dans la wilaya de Tipaza, sur la côte méditerranéenne, à l'ouest d'Alger. Elle a été conçue pour répondre aux besoins croissants en eau potable des villes environnantes, notamment Alger, Blida et Tipaza.

Sa capacité de production est de 300 000 m³ d'eau potable par jour, ce qui en fait l'une des plus grandes stations de dessalement du pays. Cette production est répartie comme suit :

- 200 000 m³/jour pour Alger
- 100 000 m³/jour pour Blida

1.2.3 Technologie Utilisée

Fouka 2 utilise la technologie de l'osmose inverse, qui est actuellement la méthode la plus efficace pour le dessalement. Le processus se déroule en plusieurs étapes :

1. Prise d'eau de mer : L'eau est prélevée à environ 1 000 mètres de la côte.
2. Prétraitement : L'eau passe par des filtres pour éliminer les grosses particules et les impuretés.
3. Osmose inverse : L'eau est pressurisée à travers des membranes qui retiennent les sels et autres contaminants.
4. Post-traitement : Des minéraux sont ajoutés pour équilibrer la composition chimique de l'eau et garantir qu'elle respecte les normes de potabilité.
5. Distribution : L'eau est acheminée vers les villes bénéficiaires.

1.2.4 Impact sur la Sécurité Hydrique

Grâce à cette station, les wilayas de Tipaza, Alger et Blida disposent d'une source d'eau plus stable, réduisant la dépendance aux barrages et aux nappes phréatiques. Ceci est particulièrement crucial en période de sécheresse.

1.2.5 Défis et Contraintes

Malgré ses avantages, le dessalement présente plusieurs défis :

- Consommation énergétique élevée : La production d'eau potable par osmose inverse nécessite beaucoup d'électricité.
- Impact environnemental : Le rejet de saumure (eau très salée) dans la mer peut affecter l'écosystème marin.
- Coût élevé : Le dessalement reste plus cher que l'exploitation des ressources en eau douce traditionnelles.

1.2.6 Perspectives d'Amélioration

Pour rendre la station plus efficace et durable, plusieurs pistes d'amélioration peuvent être envisagées :

- Utilisation d'énergies renouvelables (solaire ou éolien) pour alimenter le système.
- Optimisation du traitement des rejets salins afin de minimiser leur impact sur l'environnement.
- Développement de nouvelles membranes plus performantes pour réduire la consommation énergétique.



Figure 1.3: Rejet de l'eau salé

1.3 Station de pompage (SP3) :

Actuellement, la chaîne côtière est principalement alimentée par la station de pompage SP3 au Sud, qui reçoit les eaux du Mazafran et du SAA. Le volume de stockage à SP3 est actuellement de 30 000 m³ suite à la réalisation de deux nouveaux réservoirs au sol de 10 000 m³ et 20 000 m³ (CTP 67 m NGA).[11]

La station de pompage SP3 se décompose en deux unités :

- . SP3 1500 : Trois pompes (1512 m³/h, 110 m), fonctionne avec 2 pompes et 1 pompe de secours, elles refoulent dans une conduite de DN 900.

- . SP3 630 : Trois pompes (630 m³/h, 115 m), fonctionne avec 2 pompes et 1 pompe de secours, elles refoulent dans une conduite de DN 700. La station de pompage SP3 alimente le nouveau complexe hydraulique Sahel.



Figure 1.4: Centre de production MAZAFRAN

1.4 Problématique :

La station de pompage d'eau de Mazafran (SP3) a un problème : la pression dans le canal d'arrivée est trop élevée (environ 12 bars), alors que les pompes ont besoin de beaucoup moins (environ 1 bars). Pour réduire cette pression, on utilise aujourd'hui des systèmes classiques qui font perdre beaucoup d'énergie, ce qui est un vrai gaspillage de l'énergie .

Cette forte pression vient principalement de la différence d'altitude entre la source réservoir de sahal et la station. Au lieu de la gaspiller, il serait plus intelligent de l'exploiter comme une source d'énergie.

L'idée proposée est donc d'installer une turbine de type Francis à l'entrée de la station pour transformer cette pression en électricité, plutôt que de la perdre inutilement. Cette turbine est bien adaptée pour fonctionner avec différents niveaux de pression et de débit.

Ce projet permettrait :

de réduire la consommation d'électricité,

et d'avoir un impact positif sur l'environnement et sur les coûts.

Enfin, une étude technique sera réalisée pour choisir la bonne turbine, estimer l'énergie produite, et les bénéfices, notamment la réduction des émissions de CO₂.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases de l'hydroélectricité, une énergie renouvelable importante à l'échelle mondiale. Nous avons vu son production dans le monde ainsi qu'en Algérie, où elle reste peu exploitée malgré un bon potentiel.

Nous avons également introduit deux installations clés liées à notre projet : la station de dessalement de Fouka 2 et la station de pompage de Mazafran (SP3). Ces stations jouent un rôle essentiel dans l'alimentation en eau, notamment pour la récupération de l'énergie hydraulique excédentaire

CHAPITRE 2 : SYSTEMES DE CONTROLE DE PRESSION ET PRESENTATION DES TURBINES HYDRAULIQUES

Introduction :

Le but de ce chapitre est de présenter les différents systèmes utilisés pour contrôler la pression et généralité sur les turbines.

Grâce à Google Earth, nous avons pu obtenir la capture d'écran présentée à la figure (2.2) ci-dessous à partir d'une image satellite du site où sont implantées.

2.1 Présentation du site :

D'après ce qui a déjà été cité dans le mémoire de fin d'études, notre zone d'étude s'étend de la station de pompage (SP3) à MAZAFRAN Alger.

Cette station étant alimentée par le réservoir de sahal .Voir la figure suivante :

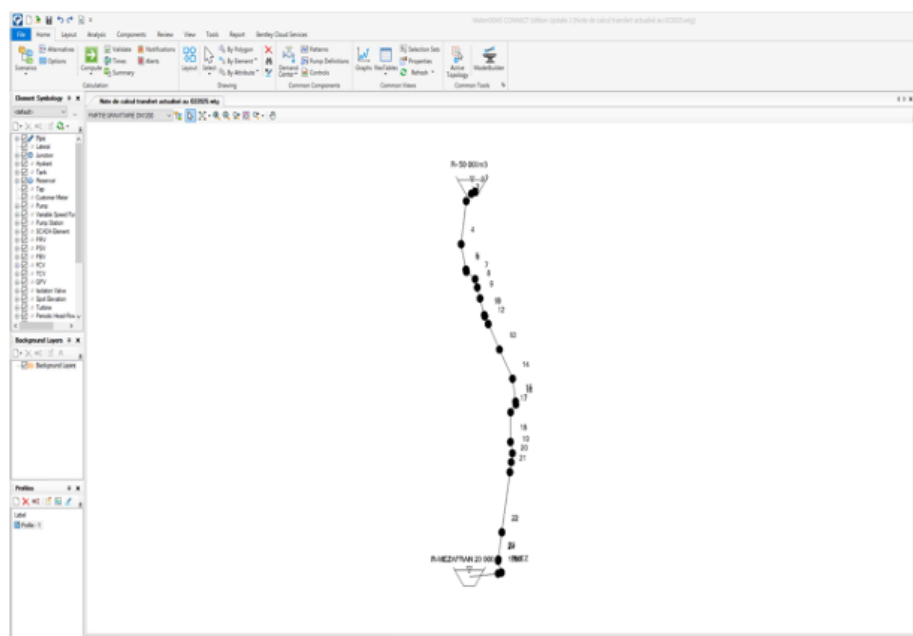


Figure 2.1: Schéma de réseaux réservoir sahal vers mazafran

Ce projet hydraulique vise à assurer l'approvisionnement en eau potable des wilayas d'Alger et de Blida. La capacité de distribution prévue est de 200 000 m³/j vers Alger et de 100 000 m³/j vers Blida.

L'étude se concentre spécifiquement sur le tronçon du canal acheminant l'eau vers la wilaya de Blida. Ce canal est alimenté à partir du réservoir de Sahal et se dirige ensuite vers la station de pompage.

À l'entrée de cette station, le canal se divise en deux branches suivant une configuration en forme de « Y », comme illustré dans le schéma :

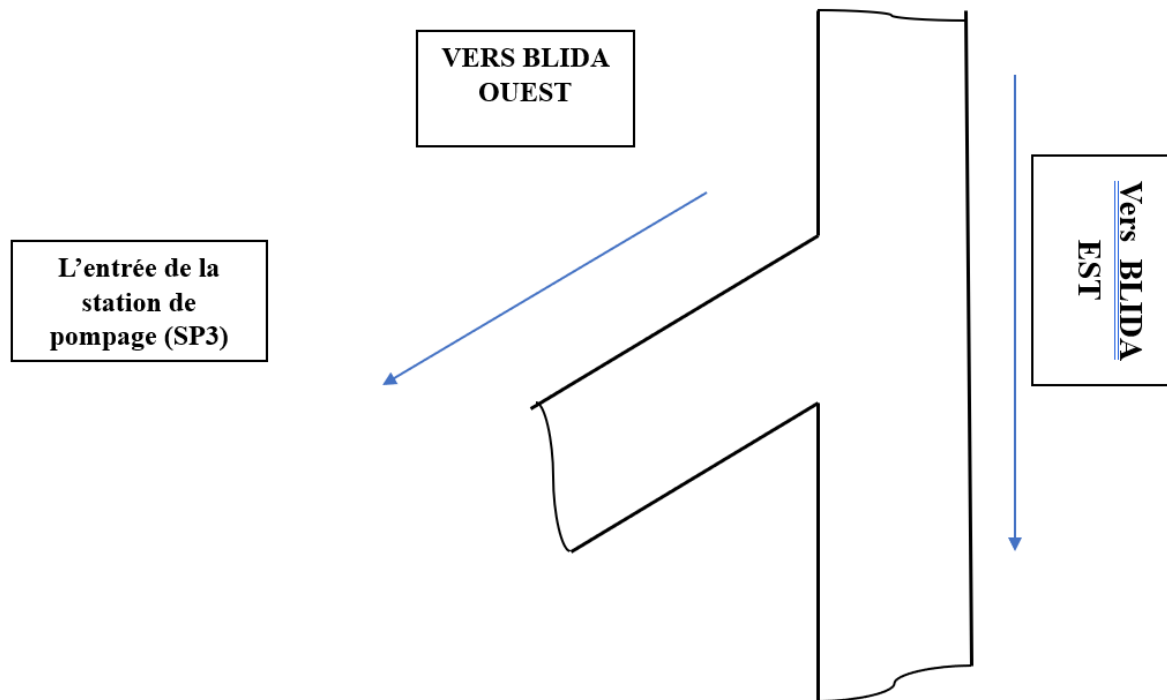


Figure 2.2: Schéma de la forme de conduite

- La branche principale continue vers la région Est de Blida, desservant notamment les localités de Bouinan, Larbaâ, etc.
- La branche secondaire se dirige vers le centre et l'ouest de la wilaya de Blida (afroune ouled aich).



Figure 2.3: Photo réel de la conduite

2.2 Station de pompage SP3 :

Actuellement, la chaîne côtière est principalement alimentée par la station de pompage SP3 au Sud, qui reçoit les eaux du Mazafran et du SAA. Le volume de stockage à SP3 est actuellement de 30 000 m³ suite à la réalisation de deux nouveaux réservoirs au sol de 10 000 m³ et 20 000 m³ . [11].

La station de pompage SP3 se décompose en deux unités :

- SP3 1500 : Trois pompes (1512 m³/h, 110 m), fonctionne avec 2 pompes et 1 pompe de secours, elles refoulent dans une conduite de DN 900.
- SP3 630 : Trois pompes (630 m³/h, 115 m), fonctionne avec 2 pompes et 1 pompe de secours, elles refoulent dans une conduite de DN 700. La station de pompage d'eau est alimentée par réservoir de sahal 190 .



Figure 2.4: Photo satellite de la station de pompage (SP3)

2.3 Les systèmes de contrôle de pression :

La pression et le débit dans les réseaux de l'eau potable est un paramètre très important à contrôler. Soit dans les canalisations, dans le but de les protéger contre les surpressions élevées. On dans le cas où on veut calmer de l'eau à la sortie d'une conduite et atténuer son énergie pour éviter le casement des pompes de station à l'entrée.

Il y a plusieurs systèmes pour contrôler la pression dans le domaine hydraulique surtout dans les conduites de transférés de l'eau potable : mécanique et par génie civil

2.3.1 Technologies et modes de gestion de la pression dans les réseaux :

Il existe différents types de systèmes de gestion de pression, mais ils ont tous en commun certains éléments fondamentaux.

Une vanne de régulation de pression (VRP), un capteur de pression et un débitmètre doivent être installés au point d'entrée de tout système de gestion de pression (voir figure 2.3).

Dans les systèmes de gestion de pression avancés, un automate programmable industriel (API) enregistre, traite et archive les mesures du capteur de pression, nécessaires pour le contrôle de la VRP.

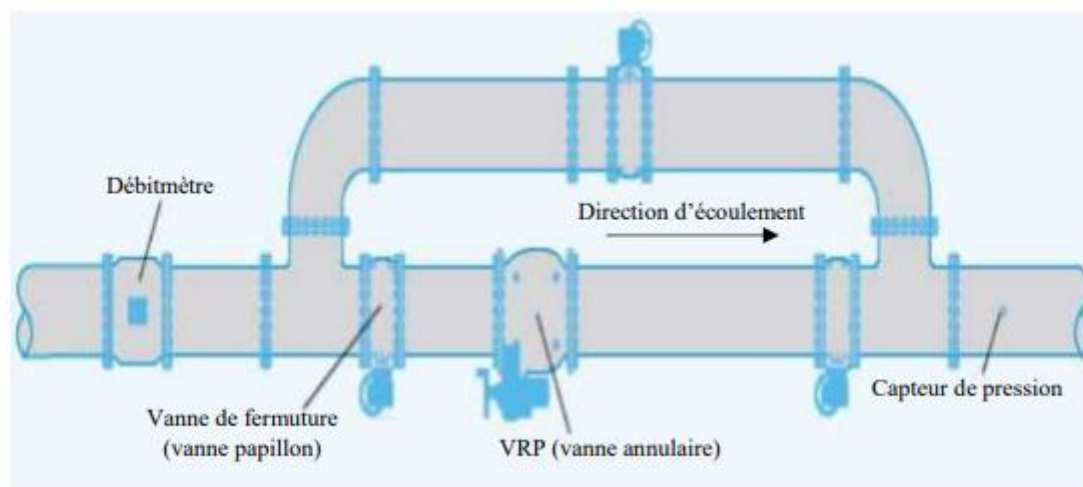


Figure 2.5: Vanne de régulation de pression munie d'un dispositif de by-pass et d'un débitmètre.[12]

Il existe quatre modes fondamentaux de fonctionnement pour la VRP et de modulation de la pression du système :

- **Sortie fixe :** le système de contrôle de pression le plus basique est celui où la pression de sortie de la VRP est tout le temps maintenue à un niveau fixé d'avance.

- Modulation de pression basée sur le temps : la pression de sortie de la VRP est modulée en fonction du temps, habituellement pour réduire la pression pendant la nuit, lorsque les débits sont faibles (faible consommation d'eau).
- Modulation de pression basée sur le débit : il est possible de fixer différentes pressions de sortie dans le but de maintenir la pression minimum requise dans le secteur en période de pointe ou pour ouvrir la VRP lorsqu'un débit seuil est excédé (par ex. débit de conduite d'incendie)
- **Modulation de pression télécommandée** : en utilisant le type de modulation de pression le plus perfectionné, la pression de sortie de la VRP est adaptée en permanence par télémétrie de capteurs de pression à un ou plusieurs points critiques.

Il existe deux systèmes de contrôle de pression dans un réseau d'alimentation en eau potable :

- Contrôle de pression par système physique
- Contrôle de pression par système mécanique automatisé

2.3.2 Contrôle de pression par système mécanique :

2.3.2.1 Réducteur de pression :

Il ne demande aucun entretien. Membrane, ressort, siège et clapet sont largement dimensionnés pour assurer un réglage précis et constant tout en autorisant de forts débits.

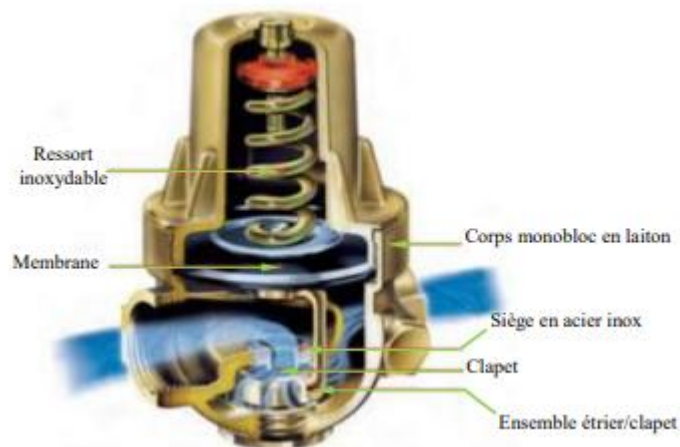


Figure 2.6: Réducteur de pression.[13]

Principe de fonctionnement

Lorsque l'eau passe dans le réducteur de pression avec un débit important, sa force vient s'opposer à celle du ressort pour pousser la membrane et libérer le passage. Ainsi, plus la pression exercée au niveau du ressort sera importante, moins le débit sera élevé à la sortie. Si un risque de contre-pression ou coup de bélier existe dans le circuit aval, il est conseillé de protéger le réducteur de pression par un clapet anti-retour placé immédiatement à sa sortie.

2.3.2.2 Régulateur de pression (Figure 2.7) :

Cet appareil permet de stabiliser une pression d'entrée variable en une pression de sortie inférieure et constante. Il réduit la pression d'une adduction gravitaire et stabilise la pression entre deux réseaux de pressions différentes. Au moyen d'une perte de charge que l'appareil est capable de créer, la pression à l'amont est diminuée pour atteindre la consigne de pression qu'on désire imposer pour le réseau en aval. Ce régulateur commandé par un ressort assure :

- Le remplacement avantageux d'un brise-charge.
- La réduction et la stabilisation de la pression d'un réseau aval, à partir d'un réseau amont à pression plus élevée, quelles que soient les variations de la pression amont et du débit demandé ; sous réserve que les caractéristiques du réseau d'alimentation soient compatibles avec les besoins du réseau aval
- La protection d'un secteur ou d'un appareillage délicat.
- La stabilisation de la pression d'aspiration d'un surpresseur.
- La régulation de réseaux étagés



Figure 2.7: Vanne régulateur de pression aval

Applications :

- Réseaux de distribution d'eau publics ou privés.
- Réseaux d'eau domestiques, industriels ou incendie.
- Réseaux d'irrigation. Un régulateur de pression aval est composé essentiellement de deux éléments principaux :

La vanne de principale à membrane (Figure 2.8) et le circuit pilote.



Figure 2.8: Les éléments de la vanne principale à membrane

Principe de fonctionnement d'un régulateur de pression (voir Fig.2.9)

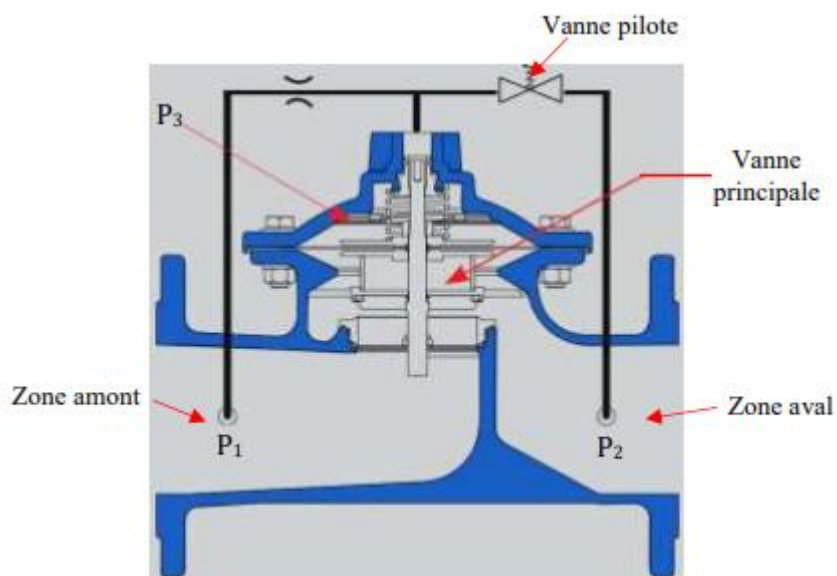


Figure 2.9: Schéma de fonctionnement de la vanne de régulation

Cas de régulateur de pression aval :

Si la pression P_2 augmente, la vanne pilote se ferme et ainsi la pression P_3 augmente provoquant la fermeture de la vanne principale ce qui conduit à la diminution de la pression P_2 et vice-versa pour le cas où P_2 diminue.

Cas de stabilisateur de pression amont ou vanne de décharge :

Si la pression P_1 augmente, la vanne pilote s'ouvre et ainsi la pression P_3 diminue provoquant l'ouverture de la vanne principale ce qui conduit à la diminution de la pression P_1 et vice-versa pour le cas où P_1 diminue.

2.3.3 Brise charge :

Un brise-charge est un dispositif hydraulique conçu pour réduire progressivement la pression ou l'énergie d'une colonne d'eau en mouvement, notamment dans les systèmes fonctionnant par gravité, comme les conduites, les canaux ou les aqueducs. Son rôle principal est de dissiper l'énergie potentielle ou cinétique de l'eau liée à la hauteur ou à la vitesse, afin de prévenir les risques de surpression, de dommages aux infrastructures, ou encore d'érosion des matériaux en aval.

Les brises-charge sont particulièrement utiles dans les réseaux où l'eau descend de grandes hauteurs, entraînant une pression excessive qui dépasse les limites de résistance des conduites ou des équipements. En interrompant ou en cassant la pente, ils permettent de contrôler l'écoulement, d'assurer la sécurité du système hydraulique, et de prolonger la durée de vie des installations.

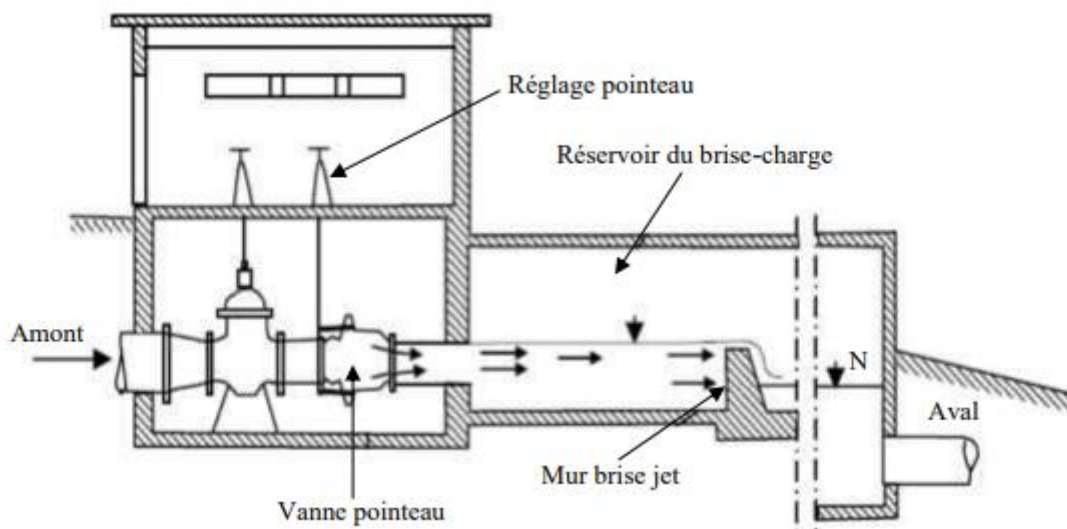


Figure 2.10: Brise charge avec jet débouchant à l'air libre

2.3.3.1 Principe de fonctionnement d'un brise-charge :

Un brise charge n'est autre qu'un réservoir intermédiaire dans lequel une partie de l'énergie du jet d'eau, à son entrée, est dissipée par une vanne pointeau provoquant une perte de charge singulière, l'énergie résiduelle étant transformée en énergie potentielle permettant d'établir le niveau d'eau N dans le bassin en aval. Le jet à la sortie de la vanne pointeau peut déboucher à l'air libre (Fig. 2.10) ou dans l'eau, dans ce dernier cas le jet d'eau se trouve amorti par la masse d'eau, l'obturateur de la vanne pointeau est solidaire à un levier OAB, articulé en O, et portant en B un contrepoids en tôle.

Celui-ci peut être rempli d'eau par une conduite souple qui relie le fond du contrepoids à la chambre. Ainsi, il y a toujours correspondance des niveaux d'eau dans le contrepoids et dans la chambre (Fig. 2.11).

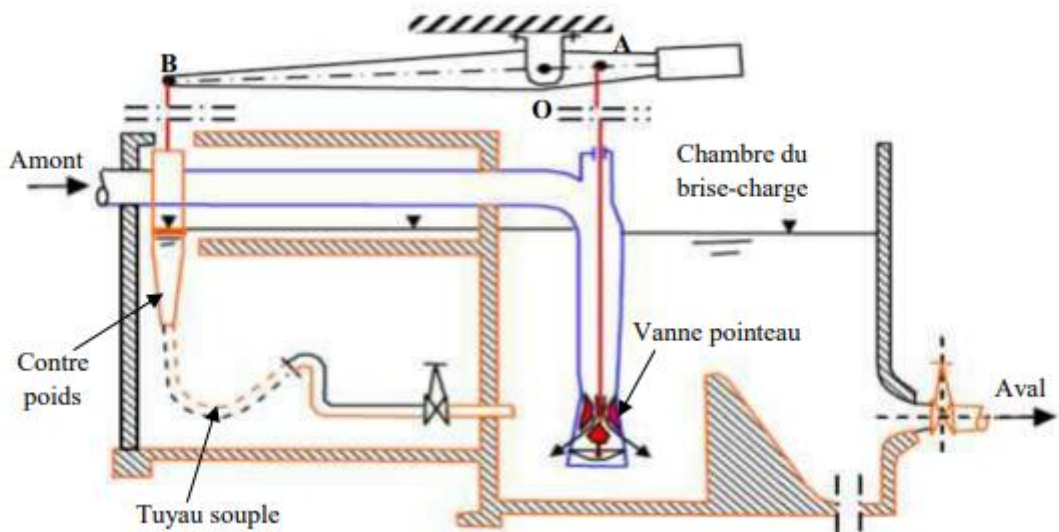


Figure 2.11: Brise charge avec contre poids liquide.

2.3.3.2 Ses applications :

- ω Alimentation des réservoirs d'eau.
- ω Régulation du débit des prises d'eau au pied d'un barrage.
- ω Régulation du débit à l'entrée d'une station de traitement.
- ω Rupture de la charge dans les conduits d'approvisionnement en eau.

2.3.3.3 Ses avantages Absence de frottements :

Sensibilité, fonctionnement progressif.

Absence de cavitation : Résistance à l'usure Excellente sensibilité de l'organe d'obturation à la pression : Absence de coups de bélier.

Gamme développée : Utilisation sous charges très élevées et pour tous débits.

Étanche : Parfaite étanchéité en position de fermeture

2.3.4 Bassin de dissipation :

Les dimensions minimales du réservoir sont déterminées en fonction :

- De l'encombrement de l'appareil utilisé
- Du volume nécessaire à la dissipation d'énergie
- De la compensation que doit assurer l'ouvrage, pour faire face à des variations plus ou moins rapides du débit appelé.

Dans le cas de l'obturateur noyé, le seuil doit être calé à au moins 1.25ϕ sous le niveau minimal, et se trouver sensiblement à mi-profondeur d'eau : au débit maximal, la hauteur d'eau au-dessus du radier du bassin sera donc au moins de 2.5ϕ .

Le volume de dissipation exprimé en (m³) représentera 1/10 ou 1/3 de la puissance maximale exprimée en (Ch), selon que l'obturateur sera de type sous capot ou noyé.

La fermeture la plus rapide que réalise l'obturateur à disque est une fermeture à pression amont constante, cette pression étant de 20% supérieure à la charge statique caractéristique. Le bassin doit être muni d'un déversoir de trop-plein qui assure l'évacuation du débit, dans le cas où la demande subit une chute rapide et si le volume tampon est insuffisant.

Un ordre de grandeur du volume tampon nécessaire pour que le brise-charge puisse s'adapter à un appel brutal du débit maximal est :

$$Volume = \frac{0.7 \times 2 \times I}{H_s \times \omega} \quad (2.1)$$

H_s : étant la charge statique à l'extrémité aval du tronçon

ω : le poids spécifique de l'eau

I : l'inertie ou la force vive de l'eau contenue dans la conduite amont au débit maximal, elle est donnée par l'expression :

$$I = \frac{1}{2} \frac{\omega}{g} \times \sum L \times S \times V^2 \quad (2.2)$$

L , S et V étant la longueur, la section et la vitesse d'écoulement correspondant à chacun des différents tronçons de la conduite.

2.3.5 Critères de sélection de l'obturateur :

2.3.5.1 Obturateur sous capot :

La déflexion du jet par le capot et sa répartition, produisent une circonférence de diamètre largement supérieur à celui de l'orifice de sortie, donnant à cet obturateur une remarquable aptitude pour la dissipation d'énergie. Pour la même puissance à dissiper, on a besoin d'un volume de dissipation trois fois plus petit que dans le cas d'un obturateur noyé. Par conséquent il convient très bien pour l'équipement de conduites avec des charges très élevées.



Figure 2.12: Robinet à disque auto-centreur sous capot

2.3.5.2 Obturateur noyé :

Le coefficient de débit de cet obturateur est supérieur à celui de l'obturateur sous capot, pour le même débit restitué on a besoin d'une charge minimale environ deux fois plus petite, caractéristique améliorée en plus par le fait que, la baisse du niveau au bassin de restitution joint à l'augmentation du débit, est récupérée intégralement en charge motrice. Par conséquent l'obturateur noyé est particulièrement indiqué pour des débits importants et/ou quand la charge disponible est faible. Il est intéressant également de souligner que son fonctionnement est silencieux, ce qui en constitue un avantage indéniable.

2.3.6 Robinet à disque auto-centreur

Le robinet à disque auto-centreur est une variante de l'obturateur à disque à flotteur classique, adaptée aux nouveaux besoins de l'hydraulique et aux techniques de gestion centralisées des réseaux de distribution ou d'irrigation.

Comme l'obturateur à flotteur, il se place à la sortie d'une conduite en charge, dans un réservoir, un bassin ou un barrage. Dans ce cas, le flotteur qui actionne le disque est remplacé par un mécanisme d'ouverture et de fermeture qui se compose d'un volant, d'un réducteur mécanique à actionnement manuel, d'une motorisation électromécanique ou bien d'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.

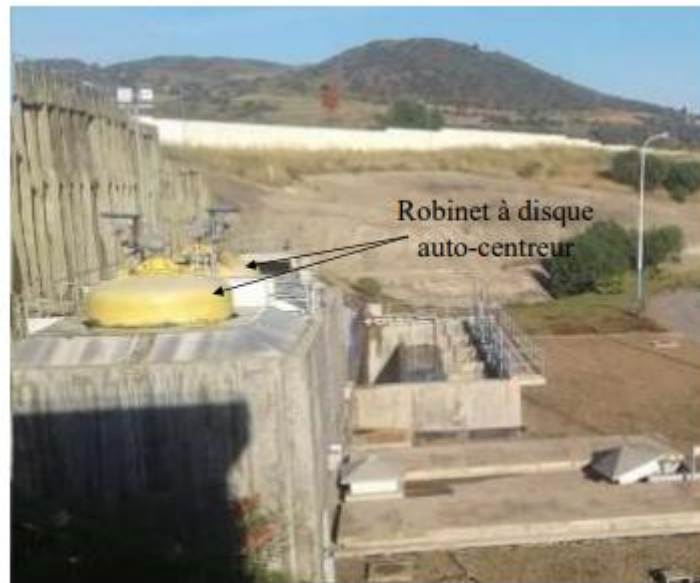


Figure 2.13: Les deux robinets brise-charge

2.3.6.1 Ses avantages :

- Absence de frottement
- Absence de cavitation
- Large gamme
- Etanche

Comme il n'y a pas de flotteur qui élimine le risque de coup de bélier dans la conduite amont, il faut donc choisir une vitesse de fermeture suffisamment lente pour la mise en marche motorisée.

2.3.6.2 Utilisation du robinet à disque motorisé :

Grâce à sa capacité de fonctionnement avec ouverture partielle, il est particulièrement bien adapté pour la régulation. Il est associé à un contrôleur pour s'assurer des fonctions beaucoup plus complexes par rapport à l'obturateur à flotteur classique, comme la régulation de:

- Pression des eaux amont.
- Niveau d'un bassin amont et aval.
- Niveau d'un bassin aval, avec limitation de pression ou du niveau dans un bassin amont.
- Débit avec limitation de pression des eaux amont ou limitation du niveau dans un bassin amont.

Le présent travail porte sur une problématique technique rencontrée à l'entrée de la station de pompage, caractérisée par une pression d'admission élevée de l'ordre de 12 bars. Cette pression excède les capacités de tolérance des réservoirs de la station, menaçant ainsi l'intégrité du système.

Afin de remédier à cette situation, l'installation d'un dispositif de réduction de pression est envisagée. Cependant, au lieu de dissiper cette énergie sous forme de perte hydraulique, il est proposé d'exploiter cette pression excédentaire à travers l'installation d'une turbine hydraulique. Ce dispositif permettra à la fois la régulation de la pression et la conversion de l'énergie hydraulique excédentaire en énergie électrique,

Dans cette optique, une étude comparative des différents types de turbines hydrauliques sera réalisée afin de sélectionner le modèle le plus adapté aux conditions de fonctionnement imposées, notamment la pression d'entrée. Une fois la turbine sélectionnée, ses dimensions principales seront déterminées, et sa capacité de production énergétique sera estimée.

2.4 Principe de fonctionnement d'une centrale hydro-électrique :

Une centrale hydro-électrique exploite l'énergie cinétique et potentielle des cours d'eau pouvant provenir d'un fleuve, d'une rivière, d'une chute d'eau, d'un courant marin, etc. L'énergie du fluide est transformée en énergie mécanique à l'aide d'une turbine. Enfin, cette énergie est transformée en électricité grâce à un alternateur. La figure (2.14). expose le principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique utile. [14]

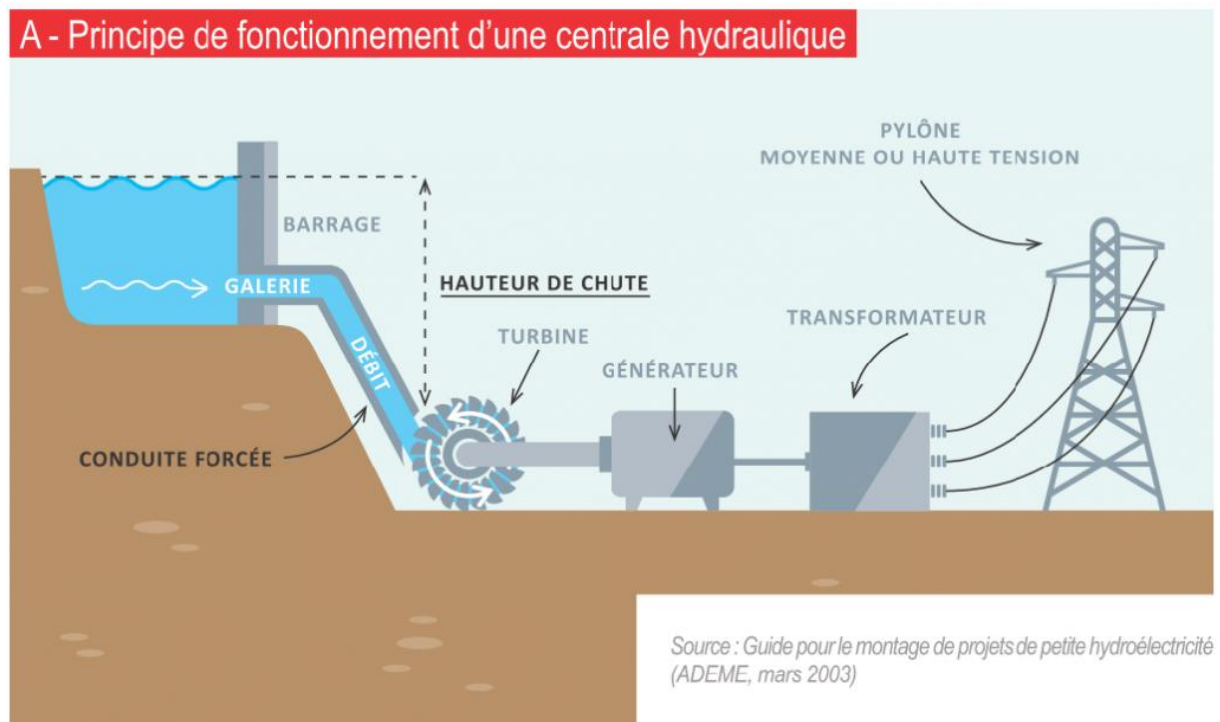


Figure 2.14: principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique [17]

Un barrage retient l'écoulement naturel de l'eau, de grandes quantités d'eau s'accumulent et forment alors un lac de retenues. Une fois l'eau stockée, des vannes sont ouvertes au niveau du barrage pour que l'eau s'engouffre dans de longs tuyaux appelés conduite forcée, ces tuyaux à taille humaine, conduisent l'eau vers la centrale hydraulique située en contrebas. Pour préserver le milieu aquatique, un débit minimal est maintenu dans le milieu naturel entre le barrage et la centrale. Dans la centrale, à la sortie de la conduite, la force de l'eau fait tourner une turbine qui fait à son tour tourner un générateur. A l'intérieur du générateur, l'interaction entre le rotor et les bobines de fils de cuivre du stator produit un courant électrique, un transformateur élève ensuite la tension de ce courant à 225 ou à 400 V pour qu'il puisse être transporté plus facilement dans les lignes à très hautes tension du réseau. Enfin, l'eau turbinée qui a perdu de sa puissance rejoint le nid naturel de la rivière par un canal spécial appelé canal de fuite. [15]

2.5 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 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.

2.5.1 Différents types de turbines hydrauliques :

Les turbines hydrauliques sont le cœur des centrales hydroélectriques. Elles sont des machines qui développent un couple à partir de l'action dynamique et de la pression de l'eau. Elles peuvent être regroupées en deux types.

2.5.1.1 Turbine à action :

La turbine à action est définie par le fait que la totalité l'énergie à disposition de l'aubage est sous forme d'énergie cinétique. L'échange d'énergie entre l'eau et la pale se produit à une pression constante, qui est généralement la pression atmosphérique.[16] Une turbine est à action si les pressions à l'entrée sont égales aux pressions à la sortie de la roue

a) -Principe de fonctionnement :

Un jet libre agit sur les augets (aubes) d'une roue (turbine). Ce jet exerce une force sur l'auget en mouvement de rotation, qui est transformé en couple et puissance mécanique sur l'arbre de la turbine. La turbine à action est caractérisée par le fait que l'énergie à disposition de l'aubage est entièrement sous forme d'énergie cinétique. L'échange d'énergie entre l'eau et l'aubage a

lieu à pression constante, généralement la pression atmosphérique. La roue de la turbine dénoyée tourne dans l'air.

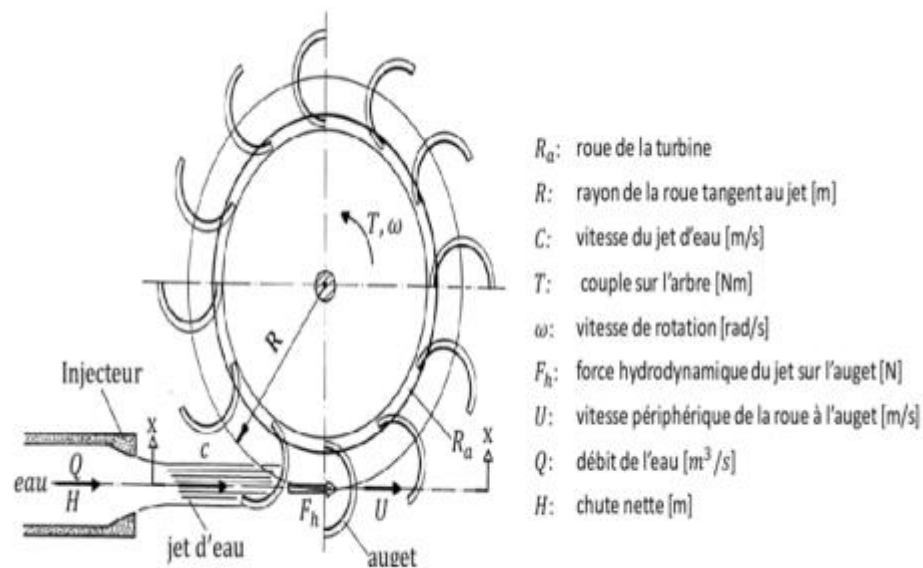


Figure 2.15: Schéma d'une turbine à action avec ses paramètres de fonctionnement et ses composants.

b) Exemples de turbines à action :

c) -Turbine Pelton :

La turbine Pelton se compose d'une roue à augets qui est mise en rotation par un courant d'eau provenant d'un injecteur. Elle est conçue pour le type de centrales hydroélectriques hautes chutes (1000-100 mètres) qui sont situées à une distance importante de la prise d'eau et pour de faibles débits. [16]

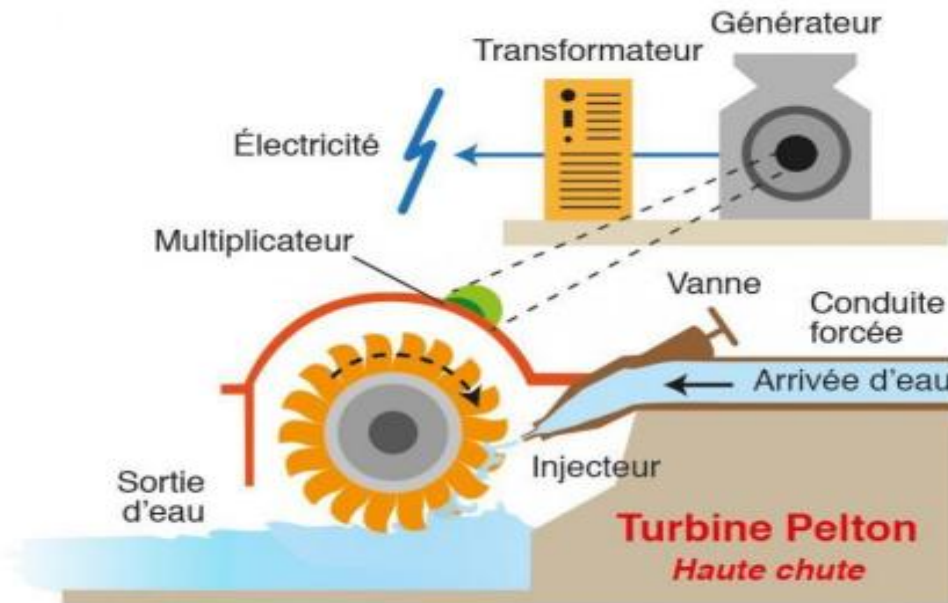


Figure 2.16: Principe de fonctionnement d'une turbine Pelton.

Turbine Banki ou Crossflow :

Les turbines Crossflow, également appelées turbines à flux transversal, sont des machines d'action dont le flux est dirigé à travers une roue qui est composée de deux brides reliées par un anneau placé de façon cylindrique. Elles sont appropriées pour les hauteurs de chute moyennes (150 - 1 m). [17]

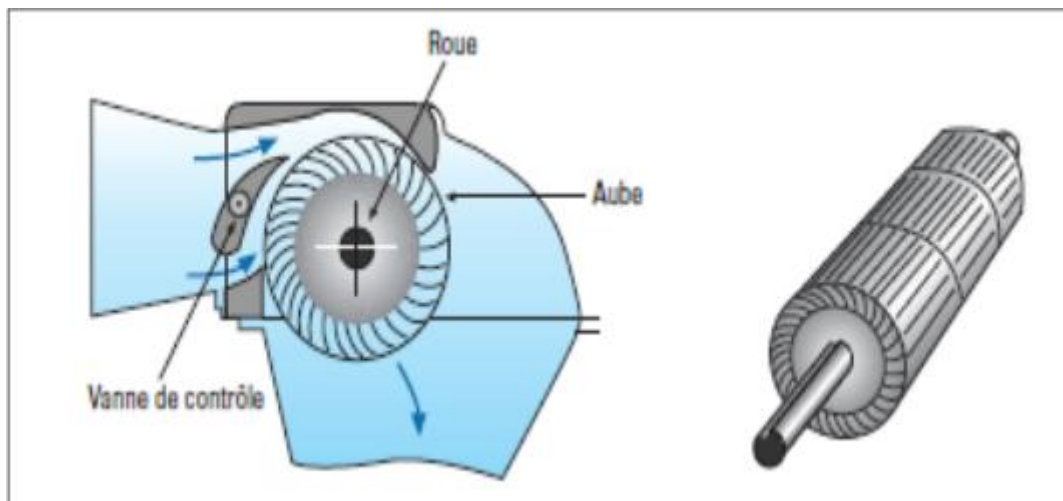


Figure 2.17: Turbine Crossflow [17]

2.5.1.2 -Turbine à réaction :

C'est une machine fermée qui exploite l'énergie cinétique (la vitesse de l'eau) et la différence de pression pour créer de l'énergie. Une turbine est à réaction si la pression à l'entrée est plus

grande que la pression à la sortie. Son fonctionnement est basé sur deux principes : 1/ la production d'un tourbillon à l'aide d'une couverture en spirale, d'aubes directrices ou des deux pour créer un tourbillon.

Le mouvement circulaire du tourbillon est récupéré à travers des aubes rotatives en déviant les courants d'eau parallèlement à l'axe de rotation. [16]

a) **-Principe de fonctionnement :**

Les turbines à réaction transforment l'énergie de pression de l'eau en énergie cinétique dans le distributeur et dans le rotor. Le distributeur est alimenté en eau par un carter en spirale. Ce carter crée un tourbillon (vortex). L'eau en écoulement est accélérée dans le distributeur par les aubes directrices réglables et dirigées sur les aubes mobiles. Le changement de direction et l'accélération continue de l'eau dans le rotor génèrent une impulsion qui est transmise au rotor. Ces aubages se comportent comme une aile d'avion : l'écoulement de l'eau provoque sur le profil de l'aube une force hydrodynamique qui induit un couple sur l'arbre de la turbine.

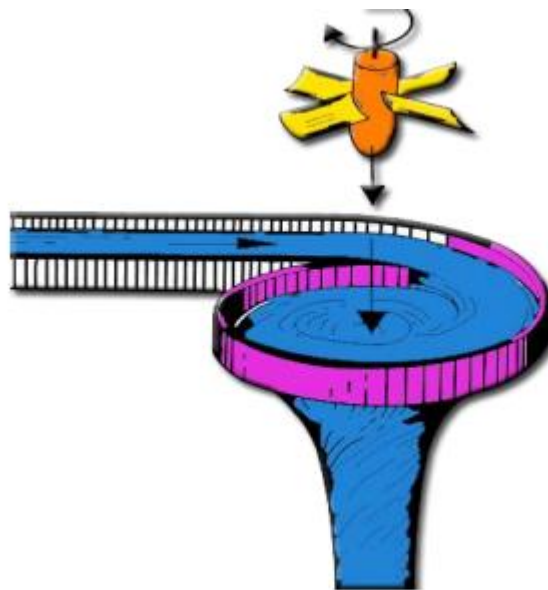


Figure 2.18: Schéma d'une turbine à réaction

b) Exemples de turbines à réaction :

-Turbine Francis :

La turbine Francis est une machine ayant des aubes directrices et des aubes de la roue dont l'écoulement pénètre radialement entre elles. Elle est adaptée pour les centrales hydroélectriques moyennes chutes (300 - 15 m). [17]

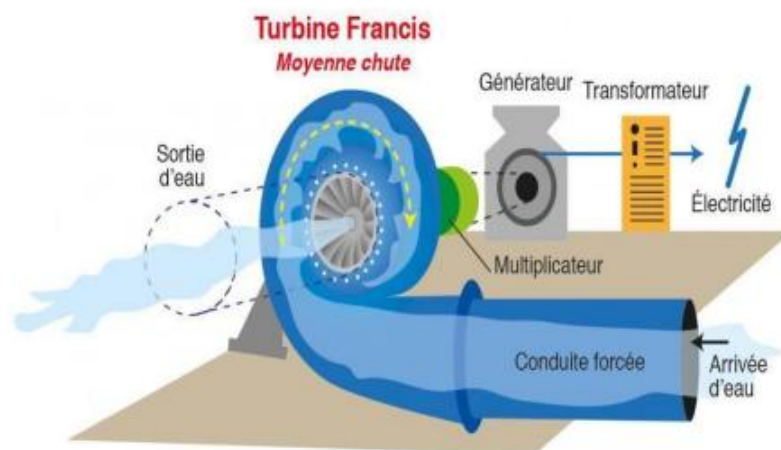


Figure 2.19: Principe de fonctionnement d'une turbine Francis

-Turbine Kaplan :

Pour le turbinage des basses chutes, les turbines à hélice et les turbines Kaplan sont les meilleures options. Elles se distinguent par une roue qui ressemble à l'hélice d'un bateau et dont les pales sont soit fixes (turbine à hélice), soit réglables en fonctionnement (turbine Kaplan). [16]

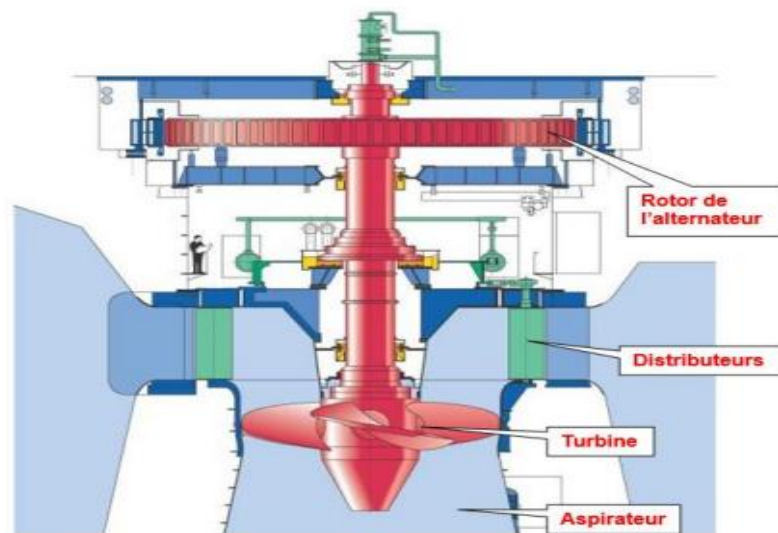


Figure 2.20: Principe de fonctionnement d'une turbine Kaplan.

2.5.2 Choix du type de turbine :

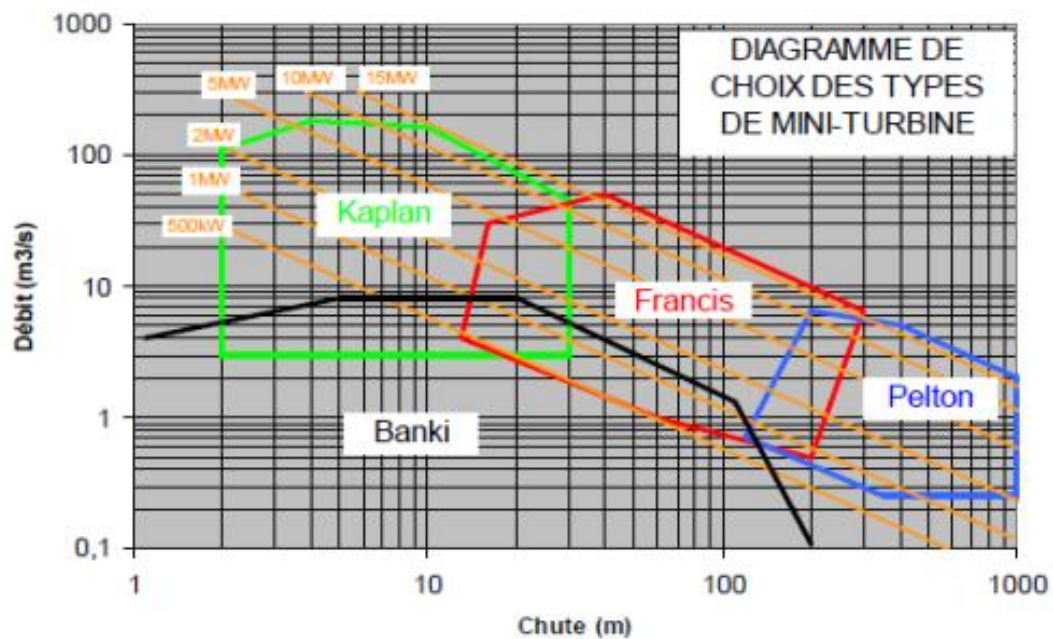


Figure 2.21: Diagramme de choix des types de mini-turbine [18]

Dans ce cas, comme on peut le voir dans le compteur illustré dans la figure ci-dessous, qui est un compteur Généralement applicable à tout type d'hydroélectricité.

2.5.2.1 Calcul des paramètres communs :

2.5.2.1.1 Puissance hydraulique d'une turbine :

La puissance fournie à la turbine par l'eau qui l'alimente est appelée puissance hydraulique. Elle est donnée par le produit de l'énergie hydraulique gH et du débit massique (débit volumique par masse spécifique).[16]

$$P_{hyd} = \rho \cdot Q \cdot gH \text{ (W)} \quad (2.3)$$

La solution proposée

Pour choisir la turbine adaptée d'après le diagramme suivant :

2.6 Notre option :

Cette option consiste à utiliser une seule turbine pour exploiter la totalité du potentiel hydroélectrique évalué précédemment. Dès son arrivée dans la station de pompage (SP3), l'eau sera d'abord turbinée avant d'être distribuée sur les deux f.

Connaissant les valeurs du débit et de la hauteur effective représentant le potentiel hydroélectrique total disponible, soit $Q = 8.825 \text{ m}^3/\text{s} = 8825 \text{ l/s}$ et $H = 115.98 \text{ m}$, , le diagramme de la (figure 2.22) va nous permettre de choisir le type de turbine adapté à cette option.

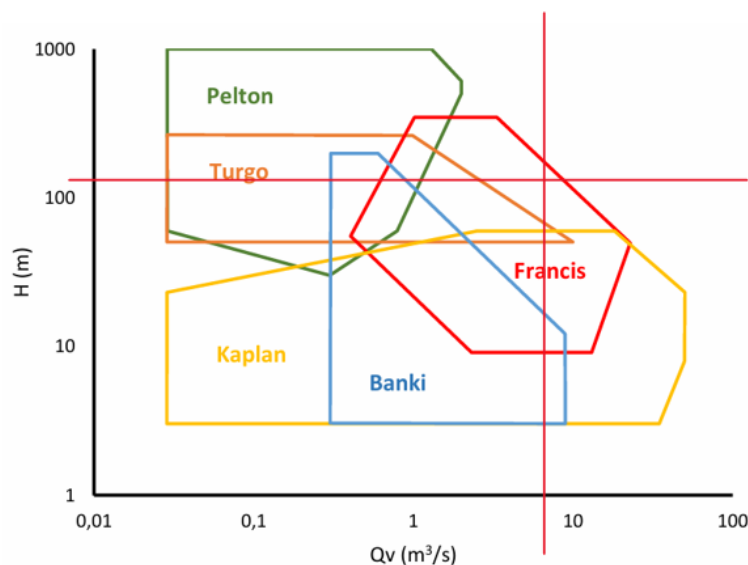


Figure 2.22: Sélection du type de turbine pour l'option.

D'après le diagramme, la turbine pourrait être de type Francis. Nous savons que la turbine Francis est mieux adaptée pour les hautes chutes et les débits importants. La turbine Francis constitue un meilleur compromis pour cette option, elle a le rendement le plus élevé en fonctionnement avec le débit nominal de dimensionnement, et il se trouve que dans le cas présent le débit n'est pas appelé à subir des variations de nature à écarter la turbine de son régime nominal.

Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté le site de la station de pompage SP3 à Mazafran (le site de notre étude) et les différents systèmes de contrôle de pression utilisés dans les réseaux d'eau potable. Ces systèmes jouent un rôle essentiel pour protéger les installations contre les surpressions et assurer une distribution efficace et sécurisée de l'eau. Nous avons également abordé les technologies modernes de gestion de la pression, les dispositifs hydrauliques tels que les réducteurs de pression, les régulateurs, les brises-charge, ainsi que les bassins de dissipation. Enfin, nous avons introduit les turbines hydrauliques, qui permettent de récupérer l'énergie excédentaire pour la transformer en énergie mécanique ou électrique. Ces connaissances sont indispensables pour proposer une solution optimale à la problématique posée dans ce mémoire.

CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA TURBINE ETUDIE

Introduction

Suite aux sélection faite au chapitre 2, nous avons ici à déterminer la dimension principale d'un turbine Francis. La procédure de calcul est la même pour la turbine Francis, la seule différence est la taille des turbines qui va changer. Les formules de dimensionnement utilisées ont été développées par des constructeurs et des chercheurs dans le domaine de l'hydroélectricité à travers l'expérience acquise au cours de nombreuses années de pratique. Avec le temps, ces formules sont devenues précises et permettent l'obtention de résultats acceptables, notamment quand on les compare aux simulations numériques. Les résultats des calculs seront présentés dans des tableaux pour en simplifier la lecture.

A partir de ce tableau des données on a calculé la chute nette

Tableau 3.1: Données hydraulique de simulation de la conduite du tronçon gravitaire [19]

Nœud depart	Nœud d'arrivée	DN (mm)	Longueur (m)	Vitesse (m/s)	Débit (l/s)	Charge hydr (m)	Pression hydrostatique (m)
R- 50 000m3	1	1 200,0	46,65	7,8	8 825	192	0
1	2	1 200,0	35,77	7,8	8 825	190,14	9
2	3	1 200,0	67,05	7,8	8 825	188,72	13
3	4	1 200,0	300,02	7,8	8 825	186,05	21
4	5	1 200,0	180	7,8	8 825	174,12	46
5	6	1 200,0	15	7,8	8 825	166,96	67
6	7	1 200,0	90	7,8	8 825	166,37	64
7	8	1 200,0	60	7,8	8 825	162,79	55
8	9	1 200,0	80	7,8	8 825	160,4	41
9	10	1 200,0	120	7,8	8 825	157,22	42
10	11	1 200,0	10	7,8	8 825	152,44	29
11	12	1 200,0	60	7,8	8 825	152,05	30
12	13	1 200,0	200	7,8	8 825	149,66	31
13	14	1 200,0	230	7,8	8 825	141,71	19
14	15	1 200,0	159,81	7,8	8 825	132,56	15
15	16	1 200,0	20	7,8	8 825	126,2	0
16	17	1 200,0	70	7,8	8 825	125,41	0
17	18	1 200,0	204,63	7,8	8 825	122,62	0
18	19	1 200,0	79,98	7,8	8 825	114,48	0
19	20	1 200,0	62,36	7,8	8 825	111,3	0
20	21	1 200,0	69,77	7,8	8 825	108,82	0
21	22	1 200,0	420,26	7,8	8 825	106,05	0
22	23	1 200,0	189,74	7,8	8 825	89,33	42
23	24	1 200,0	9,91	7,8	8 825	81,78	11
24	PMEZ	1 200,0	85,97	7,8	8 825	81,39	11
PMEZ	1000	1 000,0	30	11,24	8 825	76,02	10
1000	R-MEZAFRAN 20 000	800	5	17,56	8 825	76,02	10

La chute brute : la différence des niveaux des plans d'eaux libres là où l'écoulement a lieu en charge.

$$H_b = H_{amont} - H_{aval} = 192 - 76.02 = 115.98 \text{ m} \quad (3.1)$$

La chute nette : La chute nette représente l'énergie hydraulique disponible pour la turbine. Elle est donnée par la différence entre la chute brute et les pertes de charges totales. [16]

$$H_n = H_b - \Delta h \quad (3.2)$$

Avec Δh : les pertes de charge est négligeables

$$H_n = H_b$$

3.1 Dimensionnement de roue (Turbine Francis)

Nous allons introduire les formules de dimensionnement dans le cas d'une turbine Francis et nous présenterons les résultats dans un tableau pour notre option. Les calculs sont exécutés sur Excel. Pour le dimensionnement d'une turbine, l'approche la plus utilisée nécessite le choix des valeurs de certains paramètres essentiels, comme les résultats vont dépendre fortement de ces paramètres, il est essentiel de les choisir soigneusement. Il s'agit de la hauteur nette (H_n) sous laquelle la turbine doit fonctionner, du débit Q et de la vitesse de rotation de la roue N . Les variables à déterminer sont les diamètres de la roue, le nombre d'aubes du distributeur, la hauteur de ces dernières et le nombre d'aubes de la roue.

3.1.1 Choix de la forme de roue

Ce choix doit se faire sur la base de la vitesse spécifique. Commençons donc par évaluer cette dernière en utilisant les données préliminaires déjà connues sur l'installation, à savoir le débit et la hauteur nette $Q = 8.825 \text{ m}^3/\text{s}$ et $H_n = 115.98 \text{ m}$. Pour cela on utilise une procédure qui fait appel à deux courbes exécutées à partir de données statistiques concernant des turbines déjà en opération. Il faut d'abord calculer la vitesse spécifique définie dans ce cas par l'expression

$$n_{QE} = n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{E^{3/4}} \quad (3.3)$$

Avec Q en (m^3/s) ; n en (tr/s) ; $E = gH_n$ où $g = 9.81 \text{ (m}^2/\text{s)}$ et H_n en (m).

Des études statistiques sur un grand nombre d'installations réalisées ont permis d'établir une corrélation entre la vitesse spécifique et la hauteur nette pour chaque type de turbine (voir figure 3.1). On a, d'après la figure, pour une turbine Francis :

$$n_{QE} = \frac{1,925}{H^{0,512}} = \frac{1.925}{(115.98)^{0.512}} = 0.168 \quad (3.4)$$

Et donc :

$$n = n_{QE} \frac{(gHn)^{0.75}}{\sqrt{Q}} = 0,168 \times \frac{(9.81 \times 115.98)^{0.75}}{\sqrt{8.825}} = 11.07 \text{ tr/s} = 664.7 \text{ tr/min} \quad (3.5)$$

Les valeurs obtenues pour la vitesse spécifique et la vitesse de rotation sont consignées dans le tableau ci-dessous pour les différentes options.

Tableau 3.2: Vitesse spécifique et Vitesse de rotation des turbines

Paramètre	Les données
Q en (m^3/s)	8.825
H_n en (m)	115.98
n_{QE}	0.168
n en (tr/s)	11.07
N en (tr/min)	664.7

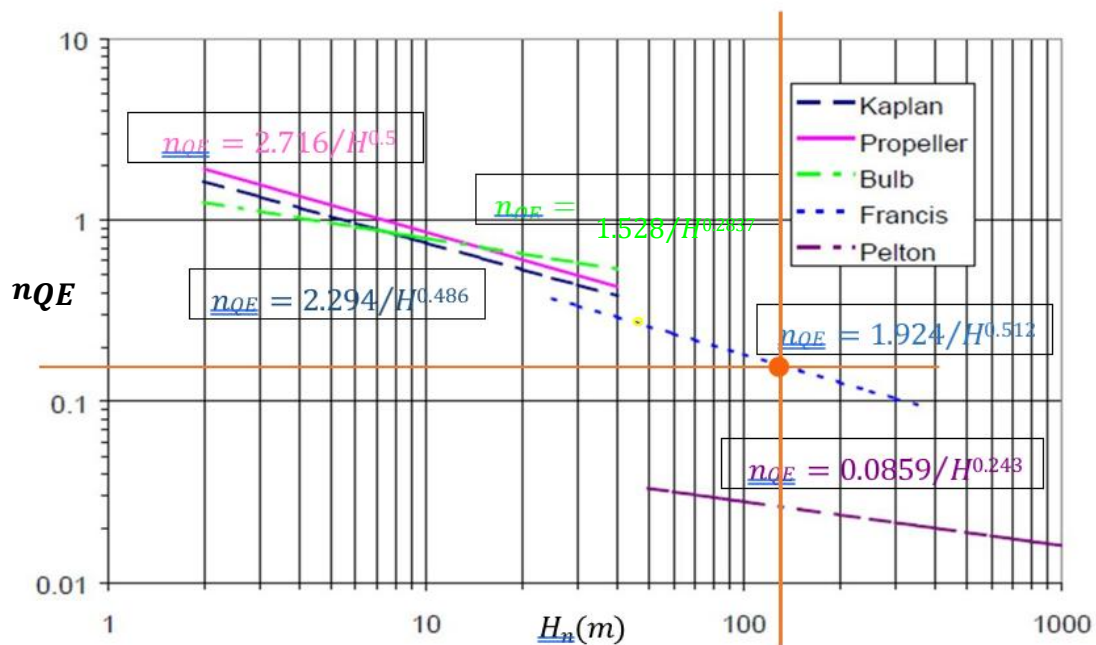


Figure 3.1: Abaque et corrélation permettant d'estimer la vitesse spécifique d'une turbine si on connaît la hauteur nette [20]

Pour pouvoir utiliser un alternateur synchrone sans avoir besoin d'un multiplicateur de vitesse, il est nécessaire de rechercher la vitesse synchrone qui se rapproche le plus de la valeur de N ci-dessus. Elle est donnée par la formule suivante :

$$N = \frac{60f}{p} \quad (3.6)$$

Où f est la fréquence des réseaux en Hz (qui est de 50 Hz dans le cas de l'Algérie) et p est le nombre de paires de pôles de l'alternateur.

On trouve avec la valeur de N ci-dessus :

$$p = \frac{60 \times 50}{N} = \frac{60 \times 50}{664.7} = 4.51$$

En prenant donc $p=6$, on trouve la vitesse qu'il faut retenir pour la turbine, soit :

$$N = \frac{60 \times 50}{p} = \frac{60 \times 50}{6} = 500 \text{ tr/min}$$

Avec cette valeur de la vitesse, recalculons la vitesse spécifique à l'aide de l'expression (3.3)

$$n_{QE} = n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{E^{3/4}} = 0.126$$

Pour choisir la forme de la roue, nous disposons d'un graphique (figure (3.2) ci-dessous) sur lequel le choix se fait sur la base d'une autre expression de la vitesse spécifique, qui est :

$$N_Q = N \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (3.7)$$

Avec cette fois-ci, N en (tr/min), Q en (m³/s) et H_n en (m). Soit donc dans le cas qui nous concerne :

$$N_Q = 500 \frac{\sqrt{8.825}}{(115.98)^{0.75}} = 42.02$$

Ce qui nous situe de toute évidence dans le domaine des roues lentes :

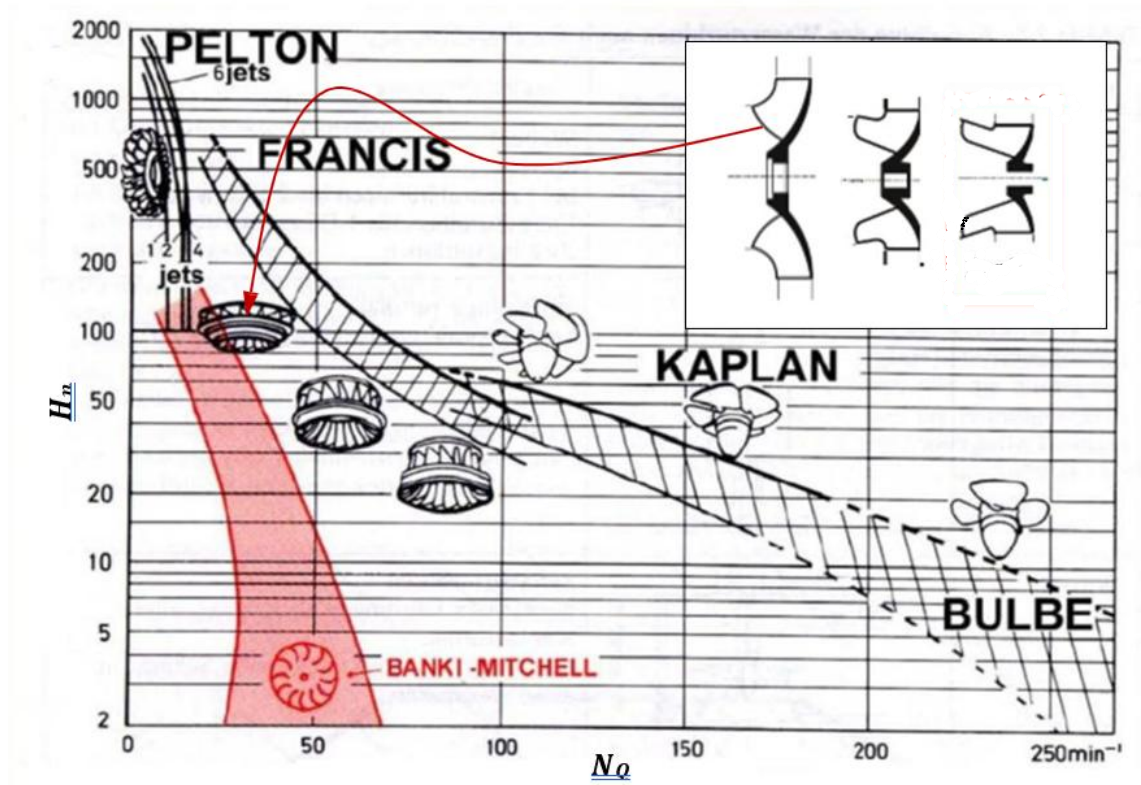


Figure 3.2: Abaque permettant le choix adapté de la forme de la roue de la turbine Francis en fonction de la hauteur nette et de la vitesse spécifique [21]

La figure (3.3) ci-dessous montre les dimensions principales de la roue dont le calcul se fera à l'aide de formules empiriques développées à partir de statistiques obtenues sur des turbines déjà en application. Ces formules sont fournies par plusieurs auteurs [22,23] et permettent dans le cas d'une turbine Francis d'évaluer les diamètres D_c, D_a et D_b respectivement :

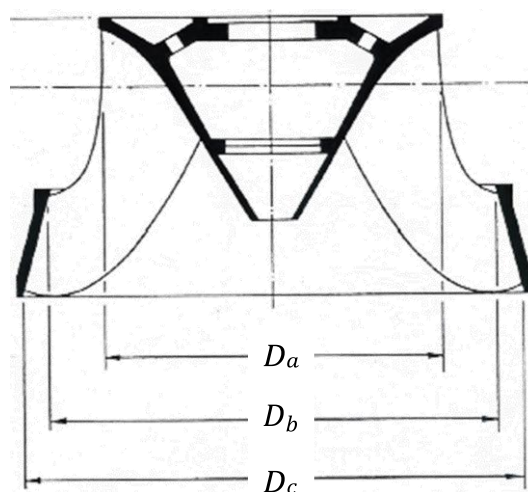


Figure 3.3: Schéma de la roue Francis avec les diamètres caractéristiques [22]

$$D_c = 84,5(0,31 + 2,488n_{QE}) \frac{\sqrt{H_n}}{N} \quad (3.8)$$

$$D_a = \left(0,4 + \frac{0,095}{n_{QE}}\right) D_c \quad (3.9)$$

$$D_b = \begin{cases} D_c/(0,96 + 0,3781n_{QE}) & n_{QE} > 0,164 \\ D_a & n_{QE} < 0,164 \end{cases} \quad (3.10)$$

Les diamètres sont calculés pour les différentes options considérées et sont présentés dans le tableau 3.3 suivant :

Tableau 3.3: Tableau récapitulatif des diamètres de la roue Francis pour les trois options considérées

Paramètre	Valeur
N en (tr/min)	500
n_{QE}	0.126
D_c en (m)	1.13
D_a en (m)	1.30
D_b en (m)	1.30

3.1.2 Choix du nombre d'aubes

Comme pratique standard, le nombre d'aubes est fixé à 15 pour le rotor d'une turbine Francis [24]. Cependant, on peut rencontrer certaines turbines modernes avec 13, 17 ou 19 aubes, les plus grands nombres correspondants aux vitesses spécifiques les plus basses du domaine couvert par les turbines Francis, soit :

$$0.05 \leq n_{QE} \leq 0.33$$

Et comme dans notre cas la valeur de n_{QE} pour chaque option est plutôt proche de la limite supérieure du domaine ci-dessus, nous optons donc pour la valeur standard de 15 aubes pour les trois options.

3.1.3 Détermination de la hauteur des aubes directrices

Les aubes directrices de hauteur B sont montrées à la figure ci-dessous, elles seront traversées par l'écoulement entre les sections (0 et 1). La roue quant à elle sera traversée entre les points (1 et 2). En considérant un jeu de 2.5 mm, le diamètre à la sortie du distributeur sera :

$$D = D_c + 5mm$$

$$D = 1135 mm$$

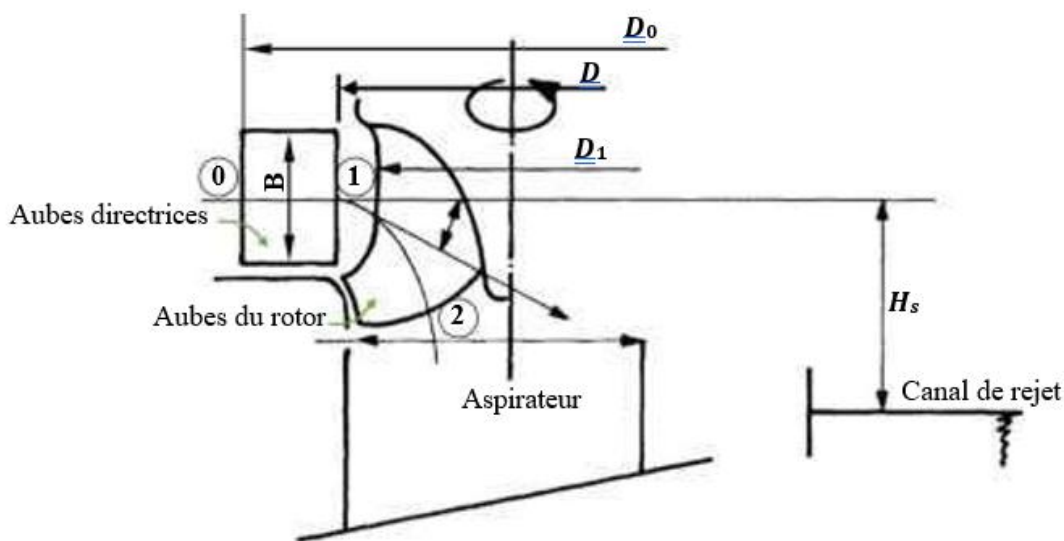


Figure 3.4: Schéma de la roue Francis montrant l'entrée 1 et la sortie 2 de la roue, la hauteur des aubes directrices B et la hauteur d'aspiration H

Pour calculer la hauteur des aubes directrices, il est nécessaire d'estimer au préalable la vitesse de l'écoulement à l'entrée de la roue (sortie distributeur). Cette dernière est liée à la vitesse périphérique

U_1 par un coefficient $\varphi = U_1/C_1$ pouvant prendre des valeurs allant de 0.6 pour les turbines lentes jusqu'à 0.9 pour les rapides [24]. On choisit la valeur de φ pour chaque option de sorte à avoir un rendement hydraulique η_h dans les normes et qui nous donnera des résultats acceptables concernant la taille de la volute, on calcule U_1 puis C_1 :

$$U_1 = \frac{\pi D_1 N}{60} = 34.03 \text{ m/s} \quad (3.11)$$

$$D_1 = \frac{D_a + D_b}{2} = 1.3 \text{ m}$$

$$C_1 = \frac{U_1}{\varphi} = \frac{34,03}{0,9} = 37.81 \text{ m/s}$$

L'angle des aubes du distributeur par rapport à la direction tangentielle, soit α_1 prendra une valeur entre 20° et 60° pour des vitesses spécifiques comprises entre 0.05 et 0.33.

La couronne d'aubes fixes comprend le même nombre d'aubes que la couronne d'aubes réglables du distributeur. Ce nombre est choisi arbitrairement et on le note Zd . C'est habituellement un multiple de 4 et est compris entre 12 et 28, selon le diamètre de la roue, le plus grand nombre étant utilisé pour les diamètres les plus grands. Par ailleurs, ce nombre ne doit pas être très différent du nombre d'aubes du rotor. Etant donné que dans les trois options on a choisi $Zr = 15$ pour le rotor, on prendra pour chacune des deux couronnes d'aubes du distributeur $Zd = 16$.

Ainsi, la hauteur des aubes directrices se calcule à l'aide de l'expression :

$$B = \frac{Q}{C_1 \pi \delta D_1 \sin \alpha_1} \quad (3.12)$$

$$B = 0.117 \text{ m}$$

Dans cette expression, δ est un coefficient qui prend en considération l'épaisseur des aubes. Sa valeur est habituellement de 0.95 pour une turbine Francis [25]

On peut déduire la formule de calcul de la vitesse C_{u1} à partir du triangle des vitesses ci-après:

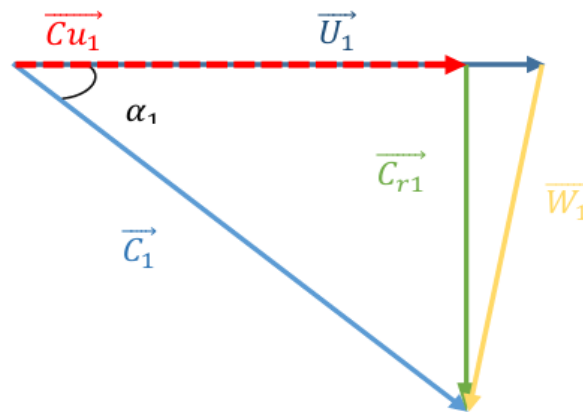


Figure 3.5: Triangle des vitesses à l'entrée de la roue Francis

$$C_{u1} = C_1 \times \cos(\alpha_1) \quad (3.13)$$

$$C_{u1} = 32.43 \text{ m/s}$$

Le tableau 3.4 ci-dessous résume les résultats de calcul à partir du choix du nombre d'aubes jusqu'au calcul de la vitesse C_{u1} :

Tableau 3.4: Tableau récapitulatif des différents paramètres calculés précédemment

Paramètre	Option considérée
D en (m)	1.135
Z_r	15
Z_d	16
D_1 en (m)	1.3
U_1 en (m/s)	34.03
φ	0.6
C_1 en (m/s)	56.71
α_1 en degrés	30.85
B en (m)	0.117
C_{u1} en (m/s)	32.43

3.2 Calcul de la hauteur théorique

Nous pouvons exprimer la hauteur théorique en fonction des vitesses U_1 et C_{u1} (on prendra $C_{u2} = 0$ conformément à l'usage).

$$H_{th} = \frac{U_1 \times C_{u1}}{g} = \frac{34.03 \times 32.43}{9.81} = 112.5 \quad (3.14)$$

Et le rendement hydraulique est donné par :

$$\eta_h = \frac{H_{th}}{H_n} = \frac{112.5}{115.98} = 0.969 \approx 0.97 \quad (3.15)$$

Tableau 3.5: Hauteur théorique et rendement hydraulique pour la turbine Francis

Paramètre	Valeur
H_n	115.98
H_{th}	112.5
η_h	0.97

3.3 Calcul de la puissance et de l'énergie annuelle produite

La puissance du système de turbinage se calcule comme suit :

$$P_i = \rho g H_{th} Q = \rho g (\eta_H H_n) Q \quad (3.16)$$

Une fois la puissance déterminée, nous pouvons estimer la quantité d'énergie produite annuellement par notre centrale hydraulique. Pour cela, on utilisera la formule :

$$E = \rho g Q (\eta_H H_n) \eta_m \eta_{al} \eta_{tr} \eta_{aux} \xi (365 \times 24) \quad (3.17)$$

Avec : ξ , facteur d'utilisation de la centrale, c'est un coefficient qui prend en considération le fait que, pour des raisons diverses, les installations ne sont pas toujours en fonctionnement et quand elles le sont, elles ne le sont pas toujours à plein régime, dans notre cas nous prendrons $\xi = 0.85$.

On s'aidera du tableau suivant pour déterminer la valeur du rendement de l'alternateur η_{al} :

Tableau 3.6: Rendement des alternateurs suivant la puissance nominale

Puissance nominale (kW)	Meilleur rendement
10	0.910
50	0.940
100	0.950
250	0.955
500	0.960
1000	0.970

Dans l'expression de l'énergie produite, en plus du rendement mécanique η_m de la turbine, de celui η_{tr} du transformateur, on a introduit le rendement η_{aux} des auxiliaires qui tient compte de la puissance autoconsommée au sein même de la centrale hydroélectrique. Les valeurs de ces différents rendements sont portées au tableau ci-après pour notre option considérée.

Tableau 3.7: Rendements des différents équipements pour l'option considérée

Paramètres	Option
Rendement hydraulique η_h	0.97
Rendement mécanique η_m	0.98
Rendement alternateur η_{al}	0.98
Rendement transformateur η_{tr}	0.98
Rendement auxiliaires η_{aux}	0.985
Rendement total η_{tot}	0.89

On notera les valeurs de P_i et E pour les différentes options dans le tableau ci-après :

Tableau 3.8: Puissances théoriques et énergies annuelles produites

	Option
$P_i \text{ tot MW}$	10.04
$E \text{ (kWh/an)}$	67232002
$E \text{ (GWh/an)}$	67.232002

3.4 Dimensionnement des éléments fixes des turbines :

Après avoir déterminé les dimensions principales des roues, on va s'intéresser maintenant au distributeur de la turbine qui contient la volute et les aubes directrices, ce dernier sert à régler et distribuer le débit d'eau uniformément autour de la roue et, à l'aspirateur, qui se place à la sortie de la roue pour récupérer l'énergie cinétique rémanente du flux à cet endroit.

3.4.1 Dimensionnement des volutes :

La bêche spirale ou volute d'une turbine à réaction, est une enveloppe sous pression permettant la mise en rotation d'eau provenant de la conduite forcée. Le calcul de la bêche spirale est basé sur la supposition que la composante circonférentielle de la vitesse à l'intérieur de la spirale est inversement proportionnelle au rayon (loi de répartition de la vitesse dans la section d'un vortex libre), ce qui traduit la conservation du moment cinétique à travers la volute. On aura donc :

$$c_u = \frac{\Gamma}{2\pi r} \quad (3.18)$$

Où Γ est la circulation de la vitesse le long d'un contour fermé qui encercle le rotor, cette grandeur est constante pour une spirale et un régime de fonctionnement de la turbine donnés.

A mesure que le rayon diminue, la vitesse C_u augmente et, de ce fait, la pression diminue. Par conséquent, au cours de l'écoulement de l'eau à l'intérieur de la volute, son énergie de pression se transforme en énergie cinétique. Il est utile d'exprimer la circulation à l'aide de la hauteur nette de la turbine et de son rendement, on a en effet :

$$Hn = \frac{U_1 C_{u1}}{g} \times \frac{1}{\eta h} = \frac{\omega}{g} r_1 C_{u1} \frac{1}{\eta h} \quad (3.19)$$

$$\Gamma = 2\pi r C_u = 2\pi r_1 C_{u1} = 2\pi \eta h \frac{g H n}{\omega} \quad (3.20)$$

On admet que le débit dans une section quelconque de la volute diminue proportionnellement à l'angle d'inclinaison de cette section par rapport à la section de la volute où le débit sera considéré comme étant entièrement distribué. On aura alors :

$$Q_{\theta} = \frac{\theta^{\circ}}{360} Q \quad (3.21)$$

Où Q est le débit total admis dans la turbine.

Le débit élémentaire à travers une aire de dimensions bdr , prise dans une section quelconque de la spirale, à une distance (r) de l'axe de la turbine sera :

$$dQ_{\theta} = bC_u dr = \frac{\Gamma}{2\pi r} bdr \quad (3.22)$$

Ce qui donne pour le débit à travers toute la section d'inclinaison θ :

$$Q_{\theta} = \frac{\theta^{\circ}}{360} Q = \frac{\Gamma}{2\pi} \int_{R'}^R \frac{bdr}{r} \quad (3.23)$$

Avec $R' = (1.03 \text{ à } 1.05) \times r_0$ et r_0 , rayon du cercle limitant la couronne des aubes directrices et à laquelle sont tangentes les sections de la bache spirale. Dans les calculs qui suivent, nous prendrons :

$$R' = 1.03 \times r_0. \quad (3.24)$$

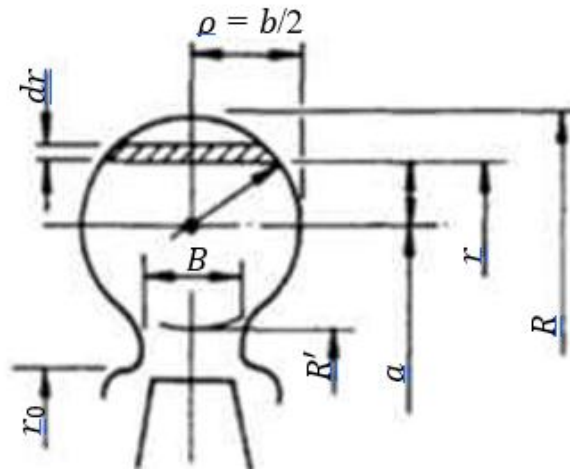


Figure 3.6: Section droite d'une volute circulaire

Dans le cas d'une spirale à section circulaire dont le rayon ρ est variable, nous obtenons en utilisant le théorème de Pythagore (fig. 3.6) :

$$\rho^2 = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + (r - a)^2 \quad (3.25)$$

$$\Rightarrow b = 2\sqrt{\rho^2 - (r - a)^2}$$

Où, a est la distance du centre de la section jusqu'à l'axe du rotor. Par conséquent :

$$Q_\theta = \frac{\Gamma}{\pi} \int_{R'}^R \frac{\sqrt{\rho^2 - (r - a)^2}}{r} dr = \Gamma (a - \sqrt{a^2 - \rho^2}) \quad (3.26)$$

On remplace dans cette équation Q_θ par $\frac{\theta^\circ}{360} Q$ et a par $R' + \rho$, puis on résout par rapport à ρ pour obtenir le rayon de la section inclinée d'un angle θ :

$$\rho(\theta^\circ) = \frac{\theta^\circ}{360 \times k} + \sqrt{\frac{2 \times \theta^\circ}{360 \times k} R'} \quad (3.27)$$

Avec :

$$k = \frac{\Gamma}{Q} = \frac{2\pi\eta_h g H n}{\omega Q} \quad (3.28)$$

Ces deux expressions permettent de déterminer entièrement les dimensions et les contours d'une volute à section circulaire. Dans le cas d'une section de forme quelconque, le calcul doit être effectué par intégration numérique.

Pour calculer r_0 , on le relie à l'expression du périmètre du cercle formé par les Z_d aubes de longueur L chacune du distributeur en position de fermeture (figure 3.7 ci-après) :

$$Z_d \times L = 2\pi r_0 \quad (3.29)$$

D'autre part, on le relie à la projection radiale de la longueur d'une aube directrice lorsqu'elle est orientée suivant l'angle d'attaque nominal α_1 :

$$L \sin \alpha_1 = r_0 - R_c \quad (3.30)$$

Avec : $R_c = D_c/2$

$$r_0 = \frac{Z_d \times R_c}{Z_d - 2\pi \times \sin \alpha_1} \quad (3.31)$$

Les résultats des calculs sont fournis au tableau suivant :

Tableau 3.9 : Valeurs du rayon du cercle tangent aux sections droites de la volute

Paramètre	Option
Z_d	16
$\alpha_1(^{\circ})$	30.85
$R_c (m)$	0.565
$r_0 (m)$	0.707
$R' (m)$	0.728

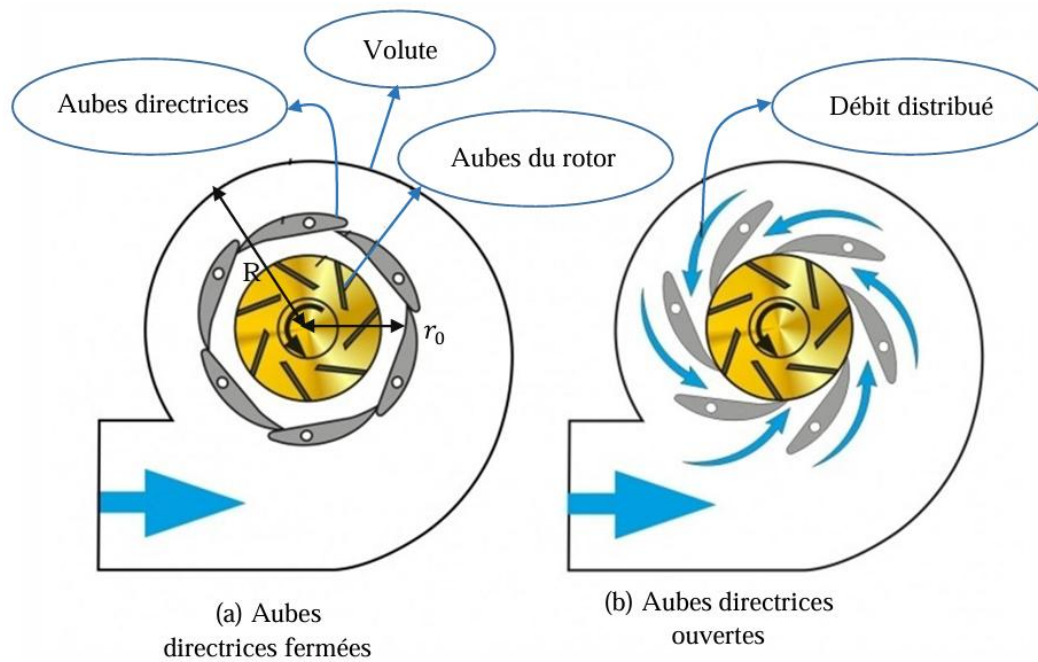


Figure 3.7: Position de fermeture et d'ouverture maximale des aubes directrices du distributeur.

La figure (3.7) montre deux configurations différentes des aubes directrices qui servent à diriger l'écoulement vers les aubes de la roue, la première où elles sont fermées ce qui correspond à un débit nul, la deuxième où elles sont entièrement ouvertes et qui correspond au débit maximal.

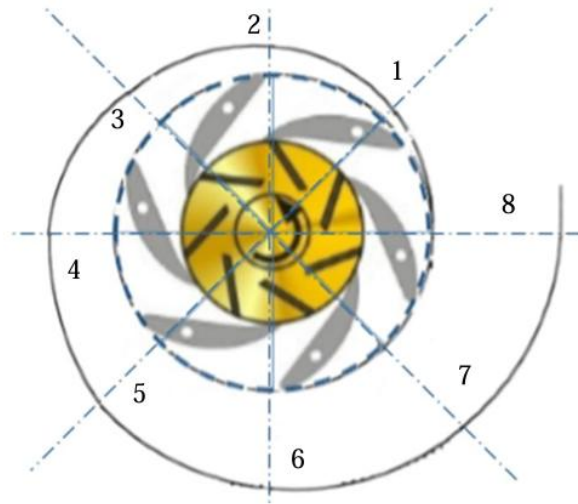


Figure 3.8: Différentes sections de la volute situées à 45° les unes des autres et dont les rayons sont donnés au tableau (3.10)

La figure (3.8) tient compte de huit positions différentes d'un angle de 45° les unes des autres, et donc nous allons calculer le rayon de la volute circulaire en chaque position et puis pour déterminer l'encombrement total de la machine, on somme les diamètres sur la ligne réunissant les positions 4 et 8. On obtient donc :

$$\text{encombrement} = 2 \times (\rho_4 + \rho_8) + 2 \times R' \quad (3.32)$$

Le tableau 3.10 ci-après résume le calcul du diamètre des différentes sections de la volute.

Tableau 3.10: valeurs des différents diamètres de la volute en chaque position présentée précédemment

		Option
$\omega \text{ (rad/s)}$		52.35
k		15.00
Position	θ°	valeurs du diamètre de la volute $DV = 2\rho \text{ en (m)}$
1	45	0.118
2	90	0.172
3	135	0.215
4	180	0.253
5	225	0.287
6	270	0.319
7	315	0.349
8	360	0.378
L'encombrement (m)		2.718

À la suite d'une étude approfondie visant à déterminer les dimensions géométriques de la turbine, basée sur les données de débit et de pression, les résultats des calculs ont montré que les dimensions obtenues répondent efficacement aux exigences fonctionnelles et de conception. Les analyses ont confirmé que ces dimensions permettent à la turbine de fonctionner avec un bon rendement dans les conditions prévues. Ces résultats témoignent de la réussite de la phase de conception, faisant de cette étape une avancée essentielle vers la concrétisation du projet sur le terrain

3.5 Étude comparative entre la production annuelle d'énergie électrique et la consommation de la station de pompage SP3

Dans le cadre de l'optimisation de la gestion énergétique dans les installations hydrauliques, une analyse comparative a été effectuée entre la production annuelle d'énergie électrique issue d'un système de valorisation de l'énergie potentielle de l'eau et la consommation énergétique de la station de pompage SP3 située à Mazafran.

. Production annuelle d'énergie électrique

Le système étudié permet de générer une énergie électrique annuelle de 67.23 GWh (gigawattheures), à partir de la récupération de l'énergie excédentaire dans le canal d'adduction. Cette production d'une transformation hydroélectrique utilisant une turbine .

. Consommation énergétique de la station SP3

La station de pompage SP3 est équipée de six pompes, dont trois d'une capacité de 1512 m³/h et trois autres de 630 m³/h, fonctionnant sous une hauteur manométrique estimée à 115 mètres. Après calcul basé sur le débit total, la hauteur de refoulement et un rendement moyen de 75 %, la consommation énergétique annuelle est estimée à 23.5 GWh.

. Comparaison énergie produite et énergie restante

La différence entre l'énergie produite et celle consommée par la station est significative :

$$\text{Énergie restante} = 67.23 \text{ GWh} - 23.5 \text{ GWh} = 43.73 \text{ GWh}$$

Cette énergie résiduelle représente une opportunité notable pour l'alimentation d'autres usages.

. Équivalence en nombre de foyers alimentés

Pour évaluer l'impact social de cette énergie excédentaire, nous considérons la consommation annuelle moyenne d'un foyer algérien composé de 5 personnes à environ 5000 kWh/an.

$$\text{Nombre de foyers alimentés} = 43,730,000 \text{ kWh} / 5000 \text{ kWh/foyer} = 8746 \text{ foyers}$$

Ainsi, l'énergie non consommée par la station SP3 pourrait couvrir les besoins électriques annuels d'environ 8746 foyers, ce qui représente une contribution énergétique considérable à l'échelle locale.

Cette étude démontre la pertinence de valoriser l'énergie hydraulique excédentaire dans les systèmes de transfert d'eau potable. L'installation proposée permet non seulement de couvrir entièrement les besoins de la station SP3, mais également de générer un excédent énergétique réutilisable, contribuant potentiellement à l'alimentation de milliers de foyers, ou à la réduction de la facture de la station.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons procédé au dimensionnement détaillé d'une turbine Francis, à partir des paramètres hydrauliques de l'installation (débit, hauteur nette, vitesse de rotation). En suivant une démarche basée sur des formules empiriques validées par l'expérience, nous avons pu déterminer les dimensions principales de la roue (diamètres, nombre et hauteur des aubes), ainsi que les éléments fixes tels que le distributeur et la volute. Les résultats obtenus montrent que la turbine sélectionnée est bien adaptée aux conditions d'exploitation envisagées, avec un bon rendement global. Ce dimensionnement permet d'assurer une production énergétique fiable et optimale, tout en facilitant l'intégration mécanique dans l'environnement de la station.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Aujourd'hui, l'hydroélectricité est une alternative propre, renouvelable et durable aux sources d'énergie traditionnelles basées sur les combustibles fossiles. Avec la tendance mondiale vers une transition énergétique, l'Algérie, malgré sa richesse en hydrocarbures, ne peut pas se permettre d'être à la traîne. Ce projet s'inscrit dans ce contexte, en proposant une solution innovante visant à récupérer l'énergie excédentaire sous forme de pression dans les canalisations de la station de pompage SP3 de Mazefran.

Cette étude a permis de comprendre les principes de fonctionnement des centrales hydroélectriques et de connaître les différents types de turbines, en mettant l'accent sur les systèmes de contrôle de pression qui jouent un rôle important dans la protection des installations hydrauliques. La turbine Francis a été choisie comme la meilleure option technique pour le site du projet, en raison de sa capacité à fonctionner efficacement sous des pressions élevées et des débits d'eau importants.

Grâce aux calculs que nous avons effectués pour déterminer les dimensions de la turbine, nous avons pu estimer l'électricité qui pourrait être produite annuellement qui est estimée 67.23 GWh en utilisant cette surpression, au lieu de la gaspiller dans des systèmes conventionnels qui entraînent un gaspillage d'énergie important. Cette solution permet de minimiser la consommation d'électricité de la station en plus d'alimenter plus de 8700 foyers

ce projet prouve qu'il est possible de transformer un problème technique (la haute pression) en une opportunité énergétique. Il ouvre de nouveaux horizons pour l'intégration de petits systèmes hydroélectriques dans des installations existantes, contribuant ainsi à l'utilisation rationnelle de l'énergie et à la protection de l'environnement. Ce travail est une étape pratique vers un développement plus durable du secteur des ressources en eau en Algérie.

Bibliographiques

- [1]: : GINOCCHIO ROGER, VIOLET PIERRE LOUIS .(2012) , livre de Energie Hydraulique (2ED) Directeur Collection : EDF
- [2]:EDF 2024 . Syndicat des énergies renouvelables, « L'hydroélectricité : les chiffres en France et dans le monde », ENR fr.
- [3]: Juliet davenport .2023The Energy Institute Statistical Review of World Energy
- [4]: Graham, I. (2000). L' énergie hydraulique / Ian Graham. Ecole active. Montréal .
- [5] : Hydroélectricité . 6 novembre 2021 Capacité par pays 2018. (s. d.). Statista. Consulté.
- [6] : Soro, D. M. (s. d.). Jury d'évaluation du stage : 79.
- [7] : CDER, (2011). «Mise en exploitation de la première centrale hybride en Algérie»
- [8] : sonalgaz 2002.statistique les Centrales recensées en Algérie
- [9] : ANBT2020 .statistique Production hydroélectrique en Algérie
- [10] : Horws-Studio. (2018, décembre 21). Avantages et désavantages de l'énergie hydroélectrique. Contrôle Electrique
- [11] : DOCUMENT TECHNIQUE SEAAL. 2010. Actualisation du schéma directeur d'alimentation en eau potable de la wilaya d'Alger.
- [12] : ONEMA, (livre janvier 2012) d'office national de l'eau et des milieux aquatique.
- [13] : Manuel de maintenance (Watts.2011).
- [14] : Guilhem Dellinger,2015 « Etude expérimentale et optimisation des performances hydrauliques », Université de Strasbourg.
- [15]: Mohamed Nasser, 2011« Supervision de sources de production d'électricité hybrides éolien/hydraulique dans les réseaux d'énergie interconnectés ou isolés. », thèse de doctorat à l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
- [16] : PACER A., 1995, Turbine hydraulique et énergies renouvelables, office fédérale des questions conjoncturelles, Suisse
- [17] : ADEME, (2003). Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité, Editions Rouland
- [18] : SHEMA, (2010). EDF, Dimensionnement Des Turbines, Lycée Chevrollier,
- [19]: Mr. OUGOUGHI (2024). NOTE DE CALCUL HYDRAULIQUE REGIME PERMANENT RÉSERVOIR 50 000M3- RÉSERVOIR 20 000M3
- [20] : GALVIS.J.C, PADILHA-FELTRIN.A, YUSTA LOYO.J.M,2011 Cost assessment of efficiency losses in hydroelectric plants. Journal Elsevier Electric Power Systems Research

- [21] :KUMAR.A(june 2012), Electro-Mechanical Selection of Turbine and Governing System. In: Standards/Manuals/Guidelines for Small Hydro Development.
- [22]: European Small Hydropower Association,(2004) Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant, ESHA.
- [23]: DUBAS.M, PIGUERON.Y.(octobre 2009) Guide pour l'étude sommaire de petites centrales hydrauliques. Haute Ecole Spécialisée de Suisse occidentale. 1e édition.
- [24]: LOGAN.E, ROY.R,(2003) Handbook of Turbomachinery, Second Edition, Revised and Expanded. Arizona State University, Marcel Dekker.
- [25]: DIXON.S.L, 1998Fluid mechanics, thermodynamics of turbomachinery. 5th Edition. Elsevier

