



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : **BOUKEFFOUS Houssam Eddine**

ABDERREZAK Zakaria

Thème

**Dimensionnement d'une turbine dans une station
de transfert d'énergie électrique par pompage**

Soutenu publiquement, le / 07 / 2019 , devant le jury composé de :

Dr ATTAR Tarik	Maître de conférence A	ESSA. Tlemcen	Présidente
Dr FARADJI Née KHERBOUCHE Djamila	Maître de conférence B	ESSA. Tlemcen	Directrice de mémoire
Dr. LASSOUANI Fatiha	Maître de conférence B	ESSA. Tlemcen	Co- Directrice de mémoire
Mr MALIKI Fouad	Maître assistant A	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
Dr.GHOMRI Amina	Maître de conférence A	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2018 /2019

Résumé

Ce mémoire est constitué de deux parties. La première est consacrée aux critères de choix de la turbine hydraulique en fonction des paramètres de site et de la centrale essentiellement (débit et hauteur de chute), ensuite dimensionnement et conception de la turbine. Dans la deuxième partie, d'après la base des données de logiciel « Hydrohelp », nous avons créé un programme qui facilite le choix de la turbine, on juste donnant les paramètres de site.

Mots clés : turbine, dimensionnement, roue, conception.

Abstract

This memory consists of two parts. The first one is devoted to the criteria of choice of the hydraulic turbine according to the site parameters and of the plant essentially (flow and height of fall), then dimensioning and design of the turbine. In the second part, according to the "Hydrohelp" software database, we have created a program that makes it easier to choose the turbine, just giving the site parameters.

Key words : turbine, sizing, wheel, design.

ملخص

تتكون هذه الذاكرة من جزأين. الأولى مكرسة لمعايير اختيار التوربين الهيدروليكي وفقاً لمعايير الموقع والمحطة أساساً (التدفق وارتفاع السقوط)، ثم تحديد أبعاد التوربينات وتصميمها. في الجزء الثاني، وفقاً لقاعدة بيانات برنامج HydroHelp، أنشأنا برنامجاً يجعل اختيار التوربين سهلاً، مع إعطاء معلمات الموقع فقط

الكلمات المفتاحية: التوربينات، التحجيم، العجلة، التصميم.

Remerciement

Nous remercions d'abord ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force, la patience et la volonté pour achever ce travail.

Si nous sommes ici aujourd'hui, c'est grâce au soutien et aux encouragements de nos parents et de nos frères et sœurs, nous exprimons nos plus vifs remerciements.

Nous remercions nos promoteurs Docteur KHERBOUCHE Djamila et LASSOUANI Fatiha pour son long soutien et ses efforts qui nous ont permis de réaliser ce mémoire.

Nous remercions aussi tous les enseignants nobles qui nous ont aidés de près ou de loin tout au long de notre parcours universitaire.

Dédicaces

*Je dédie ce travail, à mes parents qui m'ont orienté et soutenu
dans les choix difficiles et à mes sœurs et frères, sans oublier*

Bentayeb Malak

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

A tous mes amis : Salah, Amine, Samir, Aymen, Brahim, Sofiane

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

ZAKARIA....

Dédicace

*Je dédie cette goutte de sueur qui sillonne mon front pour aller remplir Ce
modeste travail :*

A la source d'amour et de tendresse, à celle qui m'a tout donné :

A toi ma chère mère "ZOHRA"

A mon symbole de sacrifice et d'affection, à celui que j'estime le plus :

A toi mon cher père "AHMED"

*A mes très chères frères : FATIMA ZOHRÀ, WALID, ZINEDDINE
et CHAHLA Pour vous quatre, je vous souhaite le bonheur et la réussite.*

A tous les autres membres de ma grande famille oncles, tantes et cousins.

*A mes très chères amis : SALAH, HASSAN, MAKHTER, YASSER,
YASSINE, ABDESLAM*

A mes très chères amis que je les connais dans ces 3ans

A mon binôme : ABDEERRAZAK ZAKARIA pour ces efforts.

*A toute personne dont j'ai une place dans son cœur, que je connais, que
j'estime et que j'aime. , Mes meilleurs vœux de succès et de bonheur dans leur
vie.*

HOUSSAM EDDINE

Table des matières

Résumé	I
Abstract	II
ملخص	III
Remerciment	IV
Dédicace	V
Introduction générale	1
1 Généralités sur les turbines	3
Introduction	3
1.1 La turbine hydraulique	4
1.2 Les composantes d'une turbine hydraulique	4
1.3 les catégories des turbines hydrauliques	5
1.3.1 Turbine à action	5
1.3.1.1 Turbine à réaction	6
1.4 Les différents types des turbines	7
1.4.1 Turbine Pelton	7
1.4.2 Turbine a crossflow	9
1.4.3 Turbine Francis	10
1.4.4 Turbine Kaplan et Hélice	11
1.5 Pompes inversée	12
1.6 Les multiplicateurs	13
1.7 Choix de nombre d'injecteurs	13

1.8	Paramètres communs dans les différentes turbines	14
1.8.1	Puissance hydraulique	14
1.8.2	Vitesse de rotation	15
1.8.3	Couple T(Nm)	15
1.8.4	Puissance mécanique	15
1.8.5	Rendement de la turbine	15
1.9	Modèle simplifié d'une turbine hydraulique	17
1.10	Le débit minimal des turbines	18
1.11	La chute minimale des turbines	18
Conclusion		19
2 Dimensionnement d'une turbine		20
	Introduction	20
2.1	Triangle des vitesses	20
2.2	Conception de la roue d'une turbine	21
2.3	La vitesse spécifique	22
2.4	Phénomène de cavitation	23
2.5	Coefficient de cavitation	24
2.6	Hauteur d'aspiration	24
2.7	Critères de choix de la turbine	25
2.7.1	La chute nette	25
2.7.2	Le débit	25
2.7.3	Vitesse d'emballement	26
2.8	Dimensionnement de la turbine Pelton	28
2.8.1	Triangles des vitesses	28
2.8.2	Dimensionnement de la roue de la turbine Pelton	29
Conclusion		31
3 Réalisation d'un programme pour choisir la turbine dans une STEP		32
	Introduction	32
3.1	Logiciel Hydrohelp	32
3.2	Outil de développement	33

3.2.1	PyCharm	33
3.3	Le langage de programmation utilisé	34
3.3.1	Python :	34
3.4	Test de choix :	35
3.4.1	Test 1 :	35
3.4.2	Test 2 :	36
	Conclusion	39

Conclusion générale		40
----------------------------	--	-----------

Table des figures

1.1	Turbine hydraulique	4
1.2	Turbine à action	6
1.3	Turbine à reaction	7
1.4	Schéma d'une turbine Pelton	8
1.5	Les principaux composants de la turbine Crossflow	10
1.6	Les principaux composants d'une turbine Francis	11
1.7	Schéma d'une turbine Kaplan	12
1.8	Pompe inversée	13
1.9	Multiplicateur	14
1.10	La somme des pertes dans une centrale hydraulique	16
1.11	Rendement de différentes turbines pour des débits variables	16
1.12	Caractéristique couple-vitesse de la turbine hydraulique	17
2.1	triangle des vitesses	21
2.2	Endommagement des roues	24
2.3	Les domaines d'utilisation des turbines	28
2.4	Triangle de vitesse	29
3.1	L'interface de PyCharm	33
3.2	Les caractéristique de site	35
3.3	Résultats de test 1	36
3.4	Les caractéristique de site	37
3.5	Resultats de test 2	37

Liste des tableaux

1.1	Les différents types des turbines hydraulique	7
1.2	Choix Nbre d'injecteur	14
1.3	Les différents types des turbines hydraulique	17
1.4	Les différents types des turbines hydraulique	18
1.5	Les différents types des turbines hydraulique	19
2.1	Le choix de la turbine à l'aide de vitesse spécifique	23
2.2	Le choix des turbines selon la chute	25
2.3	Le choix des turbines selon la variation du débit et de chute	26
2.4	Le choix des turbines selon la chute	26
2.5	Le choix de la turbine à l'aide de vitesse spécifique	27
2.6	Les données de référence de la turbine Pelton	29

Introduction générale

Les STEPs sont employées pour déplacer de grandes quantités l'énergie sur une période de plusieurs heures/jours (journalière/hebdomadaire).

La technique de pompage-turbinage est existée depuis le 19^{ème} siècle, elle permet de stocker une grande quantité d'énergie électrique sous forme d'énergie potentielle à travers l'eau. Une station de transfert d'énergie par pompage est constitué de deux bassins à différente altitude, aux heures de pointe (faible demande) la STEP stocke l'énergie, en pompant l'eau du bassin inférieure vers le bassin supérieure aux heures creuses (forte demande) elle produit l'énergie en turbinant l'eau vers le bassin inférieure. Les équipements électromécaniques des centrales sont principalement :

- La turbine qui transforme l'eau qui passe de la conduite en énergie de rotation (mécanique).
- La génératrice qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

Dans ce travail, nous allons nous intéresser à l'étude d'un organe principale dans la chaîne de conversion d'énergie hydraulique qui est la turbine. On va faire le dimensionnement de la turbine dans le but de choisir la turbine correspondante au site.

Dans le premier chapitre nous :

- Présentons la turbine et ces composantes
- citons les différents types des turbines hydrauliques, et les pompes inversées qui fonctionnent en mode turbine et mode pompe
- faisons une synthèse des paramètres communs dans les différentes turbines et le choix de nombre d'injecteurs pour une turbine dans une centrale hydraulique.
- Citer un modèle simplifié de la turbine hydraulique et une petite conclusion

afin de faire le bon choix la turbine qui reste un point cruciale dans la réalisation des STEPs.

Dans le second chapitre on se propose de faire un dimensionnement d'une turbine hydraulique, et déterminer les critères de choix dans une centrale. Pour dimensionner une

turbine hydraulique, plusieurs paramètres doivent être pris en compte. Notre travail consiste à étudier les paramètres clé tel que les triangles de vitesse, la vitesse spécifique, et le coefficient de cavitation.

Dans le troisième chapitre un programme a été effectué qui facilite le choix de la turbine

Chapitre 1

Généralités sur les turbines

Introduction

La turbine transforme l'eau qui passe de la conduite en énergie de rotation (mécanique). Les catégories d'installation hydroélectrique dans lesquelles les turbines sont employées sont les facteurs essentiels pour déterminer la forme et les caractéristiques de la turbine.

Elle transforme l'énergie potentielle associée à une hauteur en énergie mécanique. Jusqu'au 19^{eme} siècle ils ont utilisés la roue mais après 19^{eme} siècle la turbine a remplacé la roue par une aube. Les turbines hydrauliques modernes sont le résultat de plusieurs années de développement progressif. Le rendement de la turbine est environ 85%, qui est strictement supérieur de celle de la roue hydraulique qui est environ 20%. La turbine contient des organes fixes, mobile, et de réglage. La partie fixe et de réglage sont utilisés principalement pour diriger l'eau sur la roue dans les meilleures conditions. Concernant la partie mobile est utilisée pour produire un couple moteur sur l'arbre toute en transformant la puissance disponible en puissance mécanique.

L'objectif de ce chapitre est :

- La présentation de la turbine et ces composantes
- Citer les différents types des turbines hydrauliques, et les pompes inversées qui fonctionnent en mode turbine et mode pompe.
- Une synthèse des paramètres communs dans les différentes turbines et le choix de nombre d'injecteurs pour une turbine dans une centrale hydraulique.

- Citer un modèle simplifié de la turbine hydraulique et une petite conclusion.

1.1 La turbine hydraulique

Une turbine hydraulique est une machine tournante qui produit une énergie mécanique à partir d'eau en mouvement (cours d'eau ou marée) ou potentiellement en mouvement (barrage). Elle constitue le composant essentiel des centrales hydroélectriques destinées à produire de l'électricité à partir d'un flux d'eau. Elle a été inventée par Benoît Fourneyron en 1832.



FIGURE 1.1: Turbine hydraulique

1.2 Les composantes d'une turbine hydraulique

Une turbine est à action si les pressions à l'entrée égale aux pressions de la sortie de la roue. Par contre une turbine a réaction la pression à l'entrée est plus grande que la pression à la sortie. Une turbine contient les éléments suivants :

- Un distributeur fixe qui donne à l'eau une vitesse suffisante et une orientation qui permette d'aborder la roue sous l'angle adéquat car de faibles écarts peuvent entraîner des pertes importantes de rendement.

- Une roue mobile munie d'ailettes ou d'augets (forme de cuillère) qui a pour rôle de transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique.
- Un aspirateur diffuseur qui récupère l'énergie cinétique de l'eau à la sortie de la roue en évacuant cette eau dans le bief aval. Ce dispositif crée une dépression à la sortie de la roue de sorte que l'on profite non seulement de la plus grande partie de l'énergie cinétique mais encore de la hauteur géométrique entre la roue et le niveau aval.[1]

1.3 les catégories des turbines hydrauliques

Les turbines hydrauliques ont été divisées en deux catégories :

1.3.1 Turbine à action

La turbine à action est caractérisée par le fait que l'énergie de l'aubage est totalement convertie en énergie cinétique. La pression reste constante entre l'eau et l'aubage (pression atmosphérique). La roue de la turbine est dénoyée et tourne dans l'air.

Un jet entraîne les augets en exerçant une force pour les mettre en mouvement de rotation. Ce mouvement est transformé en couple et puissance mécanique sur l'arbre de la turbine.

La turbine la plus utilisée pour cette catégorie est la turbine Pelton.

Dans le cas d'une turbine à action la vitesse de l'eau ne dépend que de la chute. La vitesse de rotation de la turbine ne dépend pas de débit. Ce dernier dépend de deux paramètres ; la vitesse de l'eau et la section du jet.

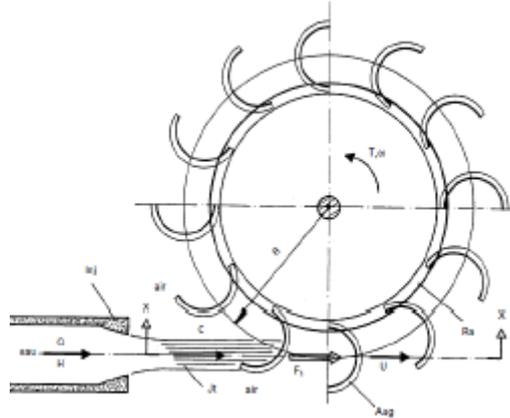


FIGURE 1.2: Turbine à action

1.3.1.1 Turbine à réaction

La turbine à réaction est une machine fermée. Elle utilise deux sources d'énergies ; une énergie cinétique qui est la vitesse de l'eau, et une deuxième énergie qui est la différence de pression. Le principe de fonctionnement de ce type est que la pression de l'eau crée une force sur la surface des aubes de la roue, avec le temps l'eau traverse la turbine, la pression diminue, donc l'énergie sera transformée en énergie mécanique de rotation et transmise à l'aide de l'arbre de transmission au générateur. Le principe est basé sur :

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

Parmi les turbines qui appartiennent à cette catégorie : Francis, Kaplan, et à hélices

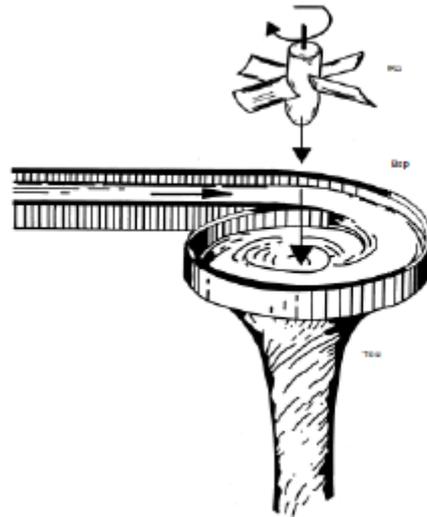


FIGURE 1.3: Turbine à réaction

1.4 Les différents types des turbines

Dans le domaine hydraulique il existe plusieurs types de turbine. Le choix de la turbine dans une centrale hydraulique est fait selon le débit et la hauteur de chute. Les principaux types et leurs caractéristiques ont résumé dans le tableau suivant :

Type	Hauteur de chute (m)	Débit (litres /seconde)
Kaplan	Basse chute	Grande débit jusqu'à 100 000
Pelton	Hautes chutes	Faibles débits
Banki	Large gamme de hauteurs de 1 à 200	Large gamme de débits 20 à 10 000
Francis	Entre 40 et 200	30 000

TABLE 1.1: Les différents types des turbines hydraulique

1.4.1 Turbine Pelton

Cette turbine est une turbine à action. Elle est utilisée pour des hauteurs de chute supérieures à 300m et des faibles débits. Sa roue est constituée d'augets en forme de double

cuillère qui sont mise en mouvement par un jet d'eau provenant d'un injecteur, avec des échancrures médianes qui assurent une pénétration progressive optimale du jet dans l'auget. Le nombre d'augets varie en fonction de la hauteur de chute et de la vitesse spécifique.

Une turbine Pelton peut être équipée de plusieurs injecteurs, jusqu'à 6. Un pointeau mobile à l'intérieur de l'injecteur assure le réglage du débit, qui est déplacé par un servomoteur hydraulique ou électrique. Ce pointeau est asservi à la régulation de la turbine. La turbine Pelton comporte aussi dans la majorité des cas un déflecteur qui se place rapidement entre l'injecteur et la roue pour dévier le jet, ceci pour éviter l'emballement de la turbine en cas de déclenchement brusque de la génératrice.

La mise en action de ce déflecteur ne nécessite pas une source d'énergie extérieure, il est manœuvré par un ressort ou un contrepoids.

Ces composants sont placés dans une bêche posée sur le canal de fuite de la turbine. Etant donné que la roue tourne dans l'air.

La roue Pelton peut être fixée avec l'arbre de la génératrice au but de diminuer le nombre de pièces mécaniques. L'avantage de la turbine Pelton est la simplicité mécanique, et un très bon rendement pour toute la plage des débits.

La vitesse nominale de la turbine varie de 500 tr/min à 1500 tr/min, ce qui permet un couplage direct sans multiplicateur à la génératrice électrique.

La figure 1.4 présente les principales constitutions de la turbine Pelton horizontale [2]

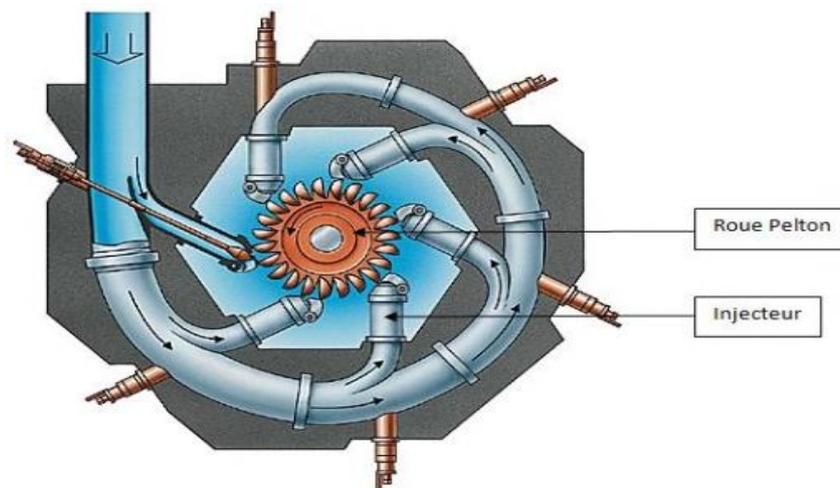


FIGURE 1.4: Schéma d'une turbine Pelton

1.4.2 Turbine a crossflow

La turbine Crossflow est une machine à action, l'eau passe deux fois par la roue. Le double passage de l'eau à travers la roue permet de limiter la sensibilité aux corps étrangers. Elle a une deuxième appellation « turbine à flux traversant ». en 1903, l'ingénieur Australien A.G.M Mitchell invente le principe de la turbine Crossflow. En 1917, la professeur Donat banki d'origine hongroise publie différents travaux sur le sujet. En 1920, la firme allemande Ossberger obtient des brevets pour certaines améliorations techniques sur ces turbines. En 1949, Mockmore et Merryfield, de l'université de l'état d'Oregon, publie un ouvrage complet traitant de la théorie de la turbine Crossflow. En 1982, U.Meier, pour le SKAT entame la rédaction de plans de construction d'une Crossflow destinée à un transfert de technologie vers les pays de sud

Leur construction est simple, elle est composée principalement en trois parties :

- Une roue en forme de tambour, dotée d'aubes cylindriques profilées.
- Un injecteur qui contient une aube profilée rotative pour assurer le réglage du débit. Cet injecteur est de section rectangulaire. Un contrepoids qui assure l'arrêt de la turbine sans énergie extérieure, et l'ouverture est assuré par un vérin hydraulique.
- Une bâche recouvre la roue où les paliers de la turbine sont fixés.

Pour assurer un bon rendement sur toute la plage des débits, un système devise les principaux composants en deux secteurs, de largeur $(1/3)$ pour la turbine, et $(2/3)$ pour la roue et injecteur.

Le choc de l'eau sur les aubes cylindrique (lames d'acier généralement) est une source de bruit et de vibration pour la machine. Lorsque la chute est faible la turbine est équipée par un aspirateur pour récupérer jusqu'à la moitié de la hauteur d'aspiration

En général sa vitesse de rotation est faible, ce qui justifie l'emploi d'un multiplicateur pour la coupler à une génératrice.

La figure 1.5 représente les principaux composants de la turbine Crossflow :

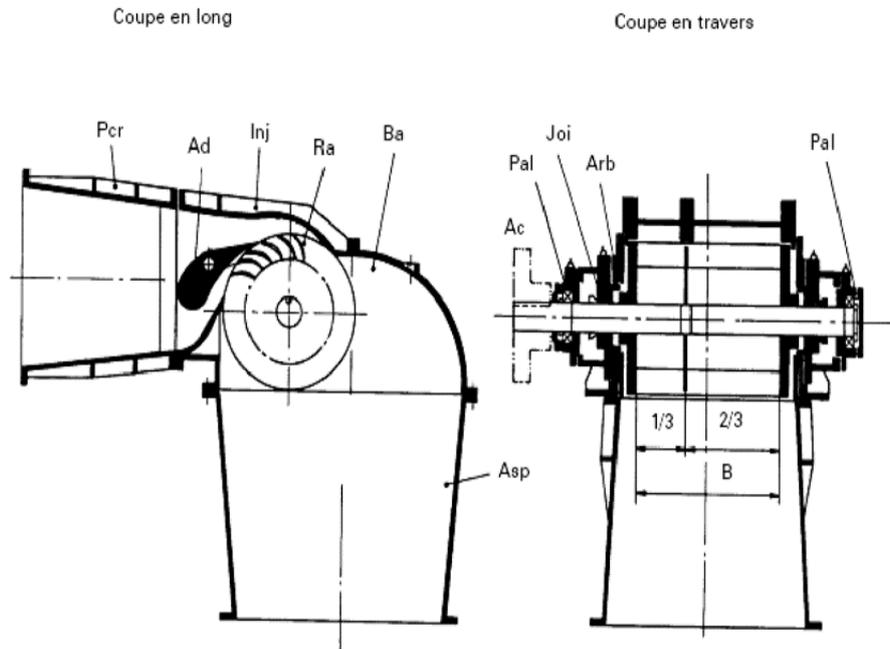


FIGURE 1.5: Les principaux composants de la turbine Crossflow

1.4.3 Turbine Francis

La turbine Francis est une machine à réaction, compacte, robuste. Sa roue est immergée et elle exploite aussi bien la vitesse de l'eau (énergie cinétique) qu'une différence de pression. La turbine Francis se présente fréquemment dans les microcentrales anciennes. Elle est utilisée pour les moyennes et basses chutes (40m à 300m) et pour des faibles variations de débit (débits moyens entre 100 l.s-1 et 6000 l.s-1). Cette turbine est alimentée par une bêche attachée à une conduite forcée. Une série d'avant directrices se trouve à la fin de la bêche pour guider l'eau vers le distributeur. Le distributeur sert à régler le débit, il fait varier le débit de zéro à la valeur maximale par la turbine et orienter l'eau vers la roue avec un angle à cause de diminuer les pertes. La roue de la turbine est placée à l'intérieur du distributeur, elle est composée par des aubes profilées, le nombre d'aubes dépend de la puissance de la turbine (8 à 16 aubes). La roue est attachée avec la génératrice avec l'intermédiaire d'un arbre. Cette dernière est guidée par le palier principal de la turbine. La turbine Francis est à injection totale parce que la roue est alimentée sur toute sa périphérie.

Pour les machines horizontales, la roue peut être montée directement en porte-à-faux sur l'alternateur sans arbre et palier intermédiaire.

Dans le cas de machine à débit fixe, il est possible d'installer des turbines Francis sans

distributeur mobile, le couplage se faisant avec la vanne de pied.

La turbine Francis a un bon rendement et une vitesse de rotation élevée (1000 tr/min).

La figure 1.6 représente les principaux composants d'une turbine Francis :

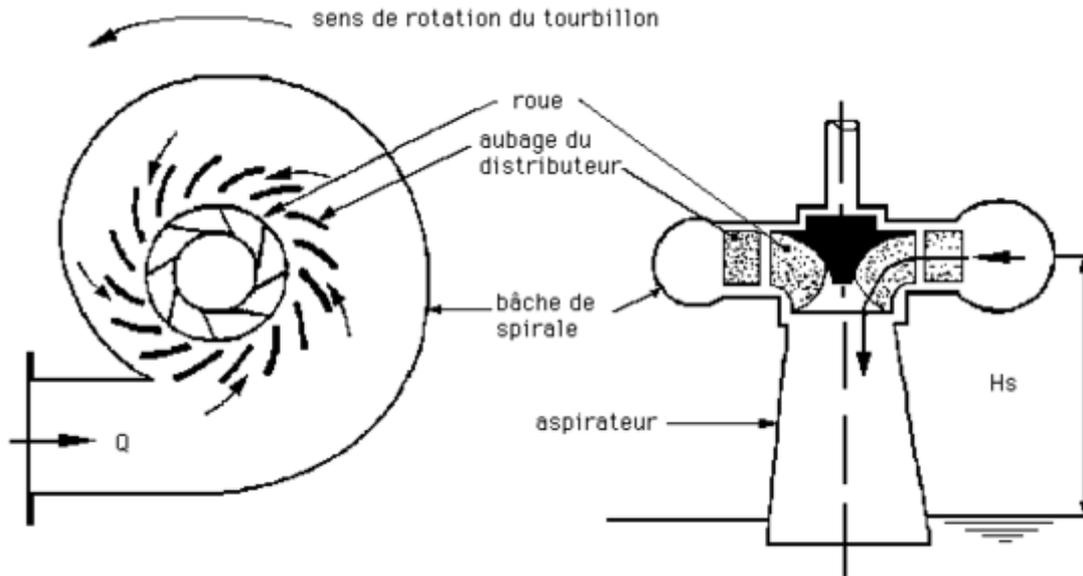


FIGURE 1.6: Les principaux composants d'une turbine Francis

1.4.4 Turbine Kaplan et Hélice

Les turbines Kaplan et hélice sont des machines à réaction. Elles sont utilisées dans les basses chutes (inférieure à 10 m) et des débits importants, et vitesse spécifique élevée.

L'alimentation en eau est similaire à une turbine Francis. La roue de la turbine sous forme d'une hélice. Il existe trois configurations selon les pales :

- Si les pales sont fixes ==> Turbine hélice
- Si le réglage de l'orientation des pales est assuré pendant la marche de la turbine ==> Turbine Kaplan
- Si le réglage de l'orientation des pales n'est assuré que pendant l'arrêt de la turbine ==> Turbine hélice à pas variable

La turbine Kaplan est de type « propulsion », elle été inventée en 1912 par l'ingénieur autrichien Viktor Kaplan dont elle tire le nom. La première turbine Kaplan installée en 1919 dans une unité de démonstration en Tchécoslovaquie, puis une autre, dans une usine textile en

Autriche, d'une puissance de 25.8Kw et hauteur de chute de 2.3 mètres.

En 1922, le développement de la turbine Kaplan est arrêté. En 1926, une société suédoise a trouvé un problème sur la turbine Kaplan qui est le phénomène de cavitation. Ce dernier peut conduire à l'arrêt prématuré de la turbine concernée, pour pouvoir effectuer de lourds travaux de maintenance et de réparations, et aussi des conséquences économiques importantes (arrêt de production, frais de maintenance sur site, ... etc.). Cette société résout le problème. Elle a créé un dispositif de servo-direction qui ajuste l'angle de rotation des pales, avant l'apparitions de la cavitation.

La turbine Kaplan est adaptée pour les très grands débits (70 à 800m³/s), et de faibles chutes. Le diamètre varie de 2 à 11 mètres avec une plage de rotation entre 50 et 250 tr/min

L'avantage de la turbine Kaplan par rapport à hélice c'est que ses pales sont orientables, tel que le pas varie pendant le fonctionnement, qui permet à la turbine Kaplan d'augmenter le rendement (90% à 95%) pour des débits variables. La turbine Kaplan est un développement technique de longue durée de la turbine Francis. Cette évolution permet le fonctionnement de la turbine Kaplan (production de l'énergie) quand la turbine Francis ne pourrait pas être utilisée.

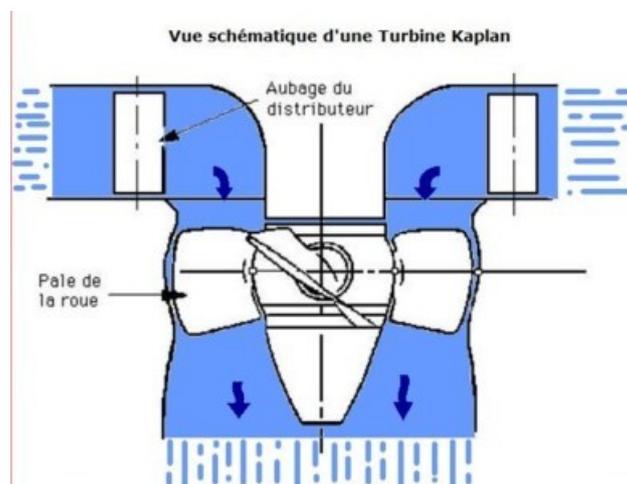


FIGURE 1.7: Schéma d'une turbine Kaplan

1.5 Pompes inversée

La pompe inversée est une pompe standard. Le changement de la direction d'écoulement permet de fonctionner comme une turbine (l'eau entre coté pression et sort coté aspiration).

Elle fonctionne avec un débit fixe comme une turbine à réaction «Francis ».

L'installation de cette pompe dans une centrale hydraulique est très rapide, comme elle est peu onéreuse. Cette pompe ne demande pas un régulateur de vitesse car elle fonctionne à une vitesse constante. Ce type de machine comporte plusieurs inconvénients :

- Rendement inférieur par rapport aux autres turbines
- Le rendement de ces machines est de 75 à 85%
- Elle fonctionne avec débit constant; une petite variation diminue le rendement de la machine
- En cas de panne réseau elle peut provoquer d'importants coups de bélier dans les conduites

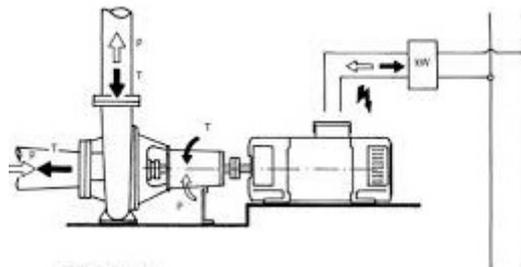


FIGURE 1.8: Pompe inversée

1.6 Les multiplicateurs

Lorsque la vitesse de rotation de la turbine est faible, en-dessous de 430tr/min on est besoin alors d'un multiplicateur pour augmenter cette vitesse. Il existe différents types de multiplicateurs :

- Multiplicateur à engrenages coniques
- Multiplicateur à arbres parallèles
- Multiplicateur à courroie

1.7 Choix de nombre d'injecteurs

Le choix de nombre d'injecteurs est suivant la vitesse spécifique. Le tableau suivant nous montre ce choix :



FIGURE 1.9: Multiplicateur

N_s	<i>Nbre</i>
1 à 23	1
20 à 34	2
26 à 40	3
32 à 47	4
38 à 58	5

TABLE 1.2: Choix Nbre d'injecteur

1.8 Paramètres communs dans les différentes turbines

1.8.1 Puissance hydraulique

La puissance hydraulique $P_h(w)$ est la puissance donnée de l'eau à la turbine. C'est le produit de l'énergie hydraulique avec le débit massique, elle est donnée par la relation suivante : $P_h = \rho Q g H_n$

Avec :

ρ : masse volumique de l'eau [Kg/m^3]

Q : débit [m^3/s]

g : accélération de la pesanteur [m/s^2]

H_n : chute nette [m]

1.8.2 Vitesse de rotation

Une fois la centrale commence à fonctionner, l'eau fait tourner la turbine avec une vitesse de rotation déterminée par les conditions d'exploitation. La vitesse de rotation est mesurée soit par n (tr/min) ou bien w (rad/s), tel que :

$$w = \pi n / 30 \quad (1.1)$$

1.8.3 Couple T (Nm)

L'eau sous pression qui entre dans la turbine exerce une force hydrodynamique sur les pales ou augets de la roue. Cette force crée un couple qui met la roue en rotation.

1.8.4 Puissance mécanique

La puissance mécanique à l'arbre de la turbine est déterminée par le produit du couple avec la vitesse de rotation par la relation suivante :

$$P_{mec}(w) = w(rad/s).T(Nm) \quad (1.2)$$

1.8.5 Rendement de la turbine

Dans chaque transformation on trouve des pertes. Dans notre cas la transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique provoque des pertes sous forme de bruit et de chaleur. La figure 1.10 représente la somme des pertes dans une centrale hydraulique :

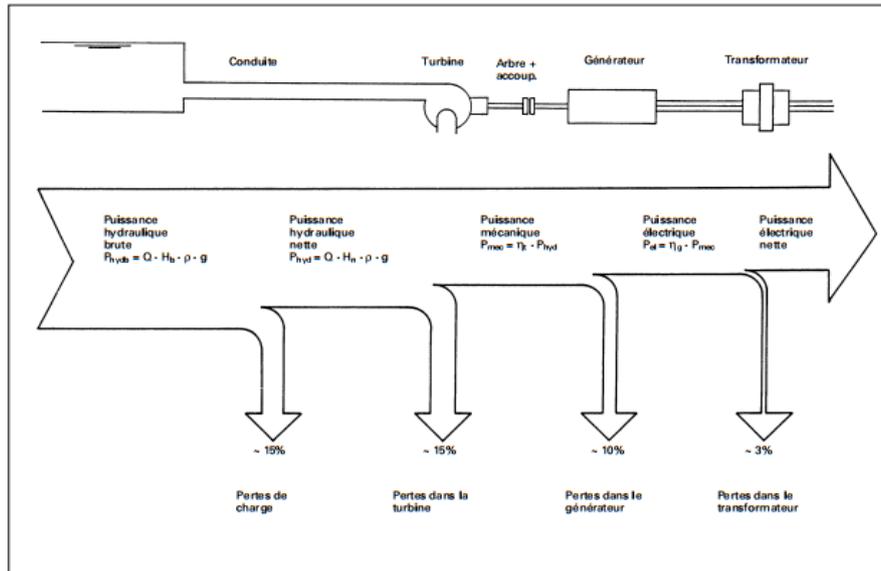


FIGURE 1.10: La somme des pertes dans une centrale hydraulique

Le rendement de la turbine est déterminé donc par la relation suivante :

$$\eta = \frac{P_m}{P_h} = \frac{T\Omega}{\rho g H Q} \tag{1.3}$$

Où la figure 1.11 représente le rendement de différentes turbines pour des débits variables

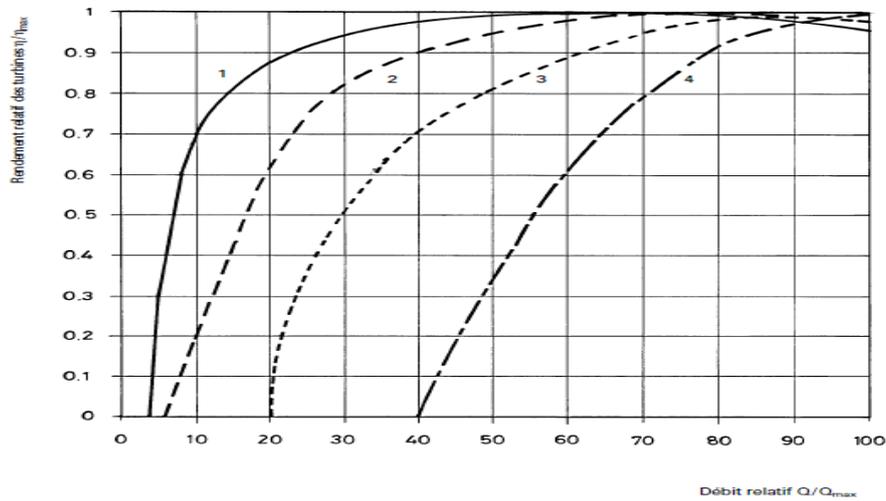


FIGURE 1.11: Rendement de différentes turbines pour des débits variables

Type	Hauteur de chute (m)	Débit (litres /seconde)
Kaplan	Basse chute	Grande débit jusqu'à 100 000
Pelton	Hautes chutes	Faibles débits
Banki	Large gamme de ahuteurs de 1 à 200	Large gamme de débits 20 à 10 000
Francis	Entre 40 et 200	30 000

TABLE 1.3: Les différents types des turbines hydraulique

1.9 Modèle simplifié d'une turbine hydraulique

Le modèle de turbine considéré est un modèle simple, statique, qui ne prend pas en compte certains paramètres hydrauliques tels que l'inertie et la compressibilité de l'eau, ainsi que l'élasticité de la conduite d'amenée à la turbine. Nous supposons que le débit de l'eau ainsi que l'orientation des aubes directrices et des pales, sont constants. Sa caractéristique couple-vitesse est pratiquement linéaire comme représenté à la figure 1.12 où C représente le couple à débit constant délivré par la turbine et Ω la vitesse de rotation [3] :

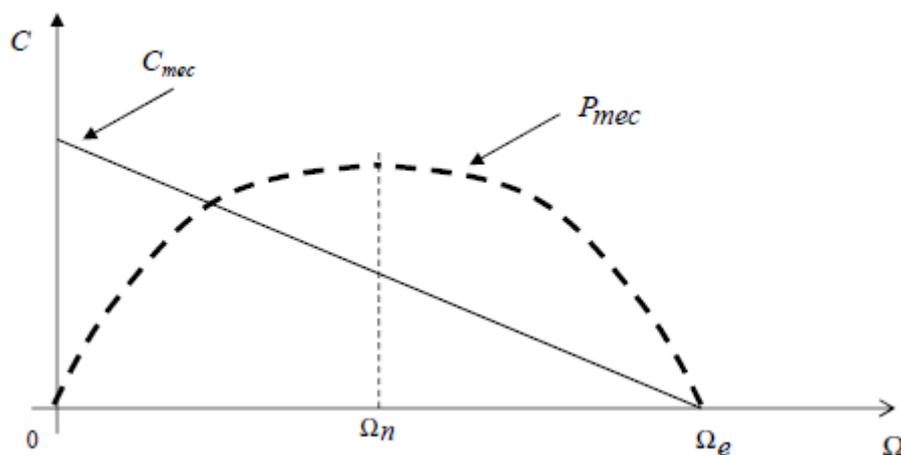


FIGURE 1.12: Caractéristique couple-vitesse de la turbine hydraulique

L'allure de cette caractéristique, commune à toutes les catégories existantes de turbines hydrauliques, permet d'en déduire la puissance mécanique fournie, notée P_{mec} , est de forme parabolique. On distingue par ailleurs la vitesse d'emballement de la turbine Ω_e qui correspond

à un fonctionnement pour lequel le débit est non nul, mais aucune charge n'est connectée à la génératrice de sorte que le couple est nul. Cette vitesse d'emballement est comprise entre 1,8 et 3 fois la vitesse nominale. Les générateurs associés aux turbines hydrauliques doivent être dimensionnés pour résister à ces survitesses. Sous un débit et chute nominaux. Et une vitesse d'emballement qui égale à 1.8 fois la vitesse nominale, la caractéristique couple-vitesse est donnée avec l'équation :

$$C_{em} = C_n \left(1.8 - \frac{\Omega}{\Omega_n} \right) \quad (1.4)$$

Le couple C_n est donné par les conditions de référence de l'installation i.e. la hauteur de chute nette nominale H et la vitesse de rotation nominale Ω_n cette dernière dépend des caractéristiques mécaniques de la turbine (vitesse spécifique).

1.10 Le débit minimal des turbines

Chaque type de turbine présente une plage de chutes lui garantissant un fonctionnement optimal. Ainsi un débit minimal en dessous duquel la turbine ne fonctionne pas.

Le tableau suivant nous donne en fonction du type de la turbine le débit minimal qui convient en pourcentage du débit nominal [4] :

Turbine type	Q_{min}
Kaplan	Basse chute
Pelton	Hautes chutes
Banki	Large gamme de hauteurs de 1 à 200
Francis	Entre 40 et 200

TABLE 1.4: Les différents types des turbines hydraulique

1.11 La chute minimale des turbines

Pour que les rendements des turbines ne soient pas trop faibles, il faut que les rapports entre les chutes utiles minimale et maximale à la chute nominale doivent rester dans les intervalles définis.

Le tableau suivant nous donne ces intervalles (selon l'USBR (1971) cité par Almeida (2000)) :

Turbine type	Q_{min}
Kaplan	Basse chute
Pelton	Hautes chutes

TABLE 1.5: Les différents types des turbines hydraulique

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la turbine et ces composantes .Ensuite nous avons cité les différents types des turbines et les pompes inversées . Après nous avons passé aux paramètres communs dans les différentes turbines. Enfin nous avons cité un modèle simplifié de la turbine

Chapitre 2

Dimensionnement d'une turbine

Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons présenter les turbines et ces différents types, ainsi quelque notion de base sur les turbines. Cependant dans la majorité des cas, le choix de la turbine reste un point cruciale dans la réalisation des STEPs . Dans ce chapitre et avec les informations précédentes on se propose de faire une dimensionnement d'une turbine hydraulique, et déterminer les critères de choix dans une centrale.

Pour dimensionner une turbine hydraulique, plusieurs paramètres doivent être pris en compte. Notre travail consiste à étudier les paramètres clé tel que les triangles de vitesse, la vitesse spécifique, et le coefficient de cavitation

2.1 Triangle des vitesses

La construction des triangles des vitesses est nécessaire pour l'analyse de l'écoulement de liquide sur l'aube de la turbine hydraulique. Cette construction des triangles des vitesses est une représentation des vecteurs caractéristique entre le liquide et le contact avec l'aube. En fait, on décompose le vecteur de la vitesse absolue de liquide a l'entrée et la sortie de la turbine en deux vecteurs ; vitesse d'entraînement, et vitesse relative.

La vitesse absolue est une somme vectorielle des deux vecteurs, elle est donnée par la

relation suivante :

$$\vec{V} = \vec{U} + \vec{W} \quad (2.1)$$

où \vec{V} est le vecteur vitesse absolue, \vec{U} le vecteur vitesse d'entraînement et \vec{W} le vecteur vitesse relative.

La figure 2.1 représente la distribution des vitesses de l'écoulement de liquide d'une turbine Banki.

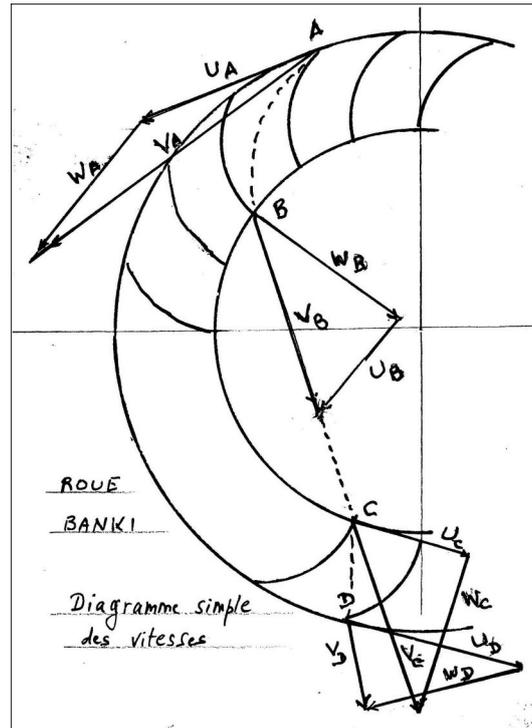


FIGURE 2.1: triangle des vitesses

2.2 Conception de la roue d'une turbine

Les paramètres géométriques et dimensionnels d'une turbine hydraulique correspondent à trois paramètres essentiels :

- La vitesse de rotation
- La hauteur de chute nette
- Le débit

La vitesse de rotation que doit avoir la turbine hydraulique est calculée à l'aide de

l'équation suivante :

$$N = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (2.2)$$

où p est le nombre de paires des pôles.

La vitesse de rotation dépend de la fréquence du réseau et à la vitesse synchrone des alternateurs.

- La puissance hydraulique est donnée par :

$$P_h = \rho g H_b Q$$

Avec :

H_b : La hauteur brute

Q : Le débit

- La puissance mécanique a l'arbre est donnée par :

$$P_a = \rho g H_b Q \eta$$

Avec :

η : Rendement de la turbine

- Le nombre d'aubes de la roue d'une turbine est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$Z = \frac{250}{N_s^{\frac{1}{3}}}$$

Avec :

N_s : La vitesse spécifique

2.3 La vitesse spécifique

Parmi les caractéristiques de la turbine hydraulique c'est la vitesse spécifique. Cette dernière est déterminée avec différentes méthodes ; en fonction de la puissance de l'arbre, du débit

- En fonction du débit (N_q)

$$N_q = N \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

- En fonction de la puissance de l'arbre (N_s) :

$$N_s = N \frac{P_a^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}, P_a \text{ en [Pa]}$$

Avec :

P_a : La puissance mécanique a l'arbre

Le chiffre de vitesse est alors :

$$v = \frac{\left(\frac{Q}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}{(2gH)^{\frac{3}{4}}} = 0,00633N_q$$

D'après la vitesse spécifique le choix de la turbine se fait à l'aide du tableau suivant [?] :

Type de turbine	Vitesse spécifique $N_s [tr/min(m^3/s)^{0.5}/m^{0.75}]$
Pelton	1-20(avec un jet)
Turbine-Pompe	25-120
Francis	20 - 140
Kaplan	100 - 300
Bulb	150 - 400

TABLE 2.1: Le choix de la turbine à l'aide de vitesse spécifique

2.4 Phénomène de cavitation

La cavitation est un phénomène physique qui affecte les liquides. Il s'agit d'un changement de phase totale de liquide en raison d'une baisse de la pression statique à température constante. La formation des poches de vapeur dans le liquide de la roue de la turbine est la conséquence d'une augmentation locale de la vitesse d'écoulement quand la pression locale baisse en dessous de la pression de vapeur de l'eau à la température constante. Une fois les cavités de vapeur créent, elles reviennent à l'état liquide dans un temps très court. [5] Ce phénomène dans les turbines hydrauliques provoque des effets nuisibles notamment

- La chute des performances
- Les bruits anormaux
- Les vibrations
- L'érosion

La figure 2.2 montre l'endommagement des roues du a ce phénomène :



FIGURE 2.2: Endommagement des roues

2.5 Coefficient de cavitation

Le coefficient de cavitation est l'un des paramètres clé de dimensionnement de la turbine. Il est calculé avec l'expression suivante :

$$\sigma = \frac{\frac{P_{atm} - P_v}{\rho} + \frac{V^2}{2} - gH_s}{gH} \quad (2.3)$$

Avec :

P_{atm} : Pression atmosphérique [Pa]

P_v : Tension de vapeur de l'eau [Pa]

ρ : Masse volumique de l'eau [Kg/m³]

g : Accélération de la pesanteur [m/s²]

V : Vitesse moyenne de sortie [m/s]

H : Chute nette [m]

H_s : Hauteur d'aspiration [m]

2.6 Hauteur d'aspiration

Dans une turbine hydraulique à réaction à axe horizontale, la hauteur d'aspiration est la distance entre le plan d'eau aval et l'axe de la roue de la turbine.

Elle prend deux valeurs ; positive ou négative. Si la turbine se trouve au-dessus du niveau d'eau aval donc elle sera positive, sinon elle sera négative. la hauteur d'aspiration est calculé

suivant l'équation :

$$H_{sth} = H_a - H_v \quad (2.4)$$

où

H_{sth} Est la hauteur d'aspiration théorique .

H_a La pression atmosphérique.

H_v La pression de vapeur de l'eau.

2.7 Critères de choix de la turbine

Pour le choix de la turbine, plusieurs critères doit être suivi parmi ces critères on s'intéresse aux ; chute nette, le débit, et la vitesse d'emballement

2.7.1 La chute nette

Après le calcul de la chute nette avec les équations précédentes, on revient au tableau suivant pour le choix de la turbine hydraulique :

Type de turbine	La hauteur H
Pelton	50 à 400m
Crossflow	10 à 150m
Francis	5 à 100m
Kaplan	2 à 10m

TABLE 2.2: Le choix des turbines selon la chute

2.7.2 Le débit

Dans une centrale hydraulique, il est nécessaire de connaître la variation du débit pour choisir le type de la turbine et le nombre de machine. Le tableau suivant nous montre le choix selon la variation du débit et de chute :

Type de turbine	Capacité de réponse aux variations de débit	Capacité de réponse aux variations de chute
Pelton	Elevée	Basse
Francis	Moyenne	Basse
Kaplan	Elevée	Moyenne
Hélice	Basse	Basse

TABLE 2.3: Le choix des turbines selon la variation du débit et de chute

2.7.3 Vitesse d'emballement

La vitesse d'emballement dans une turbine hydraulique est donnée par la relation suivant :

$$V = \eta_{max}/\eta \quad (2.5)$$

Après le calcul on revient au tableau suivant pour le choix de la turbine :

Type de turbine	Vitesse d'emballement
Kaplan simple réglage	2.0-2.6
Kaplan double réglage	2.8-3.2
Francis	1.6-2.2
Pelton	1.8-1.9
Turgo	1.8-1.9

TABLE 2.4: Le choix des turbines selon la chute

Pour résumer les critères de choix de la turbine hydraulique que nous avons les cité, nous avons fait ce tableau qui permet de faire un premier classement pour identifier les types de turbines adaptées aux microcentrales hydroélectriques[6] :

NOM	PELTON	CROSS FLOW	FRANCIS	KAPLAN
TYPE	Turbine à action : L'eau est mise en vitesse maximale dans l'injecteur. Tout l'énergie dans le jet entraîne la rotation de la roue et de l'eau ressort en pluie (énergie cinétique)		Turbine à réaction : L'eau est guidée par le distributeur pour rentrer sans choc dans la roue. Celle-ci se met en vitesse maximale à la sortie de la roue. Cette machine utilise à la fois l'énergie cinétique et la différence de pression	
DEBIT	20 à 1000 L/sec	20 à 7000 L/sec	100 à 6000L/sec	300 à 10000 L/sec
HAUTEUR	50 à 400m	10 à 150 m	5à 100m	2à 10m
VITESSE DE ROTATION	500 à 1500 tr/min	Faible	Jusqu'à 1000tr/min	Faible
CARACTERISTIQUES	Arrivée d'eau réglable par les injecteurs qui permettent de conserver de bons rendements. Encombrement réduit par liaison direct turbine-générateur	Construction simple mais rendement faible. Multiplicateur encombrant entre turbine et générateur	Excellent rendement si le débit varie entre 60 et 100% de son débit nominal. Fonctionnement sans multiplicateur.	Bon rendement. A utiliser pour les forts débit et les faible chutes.

TABLE 2.5: Le choix de la turbine à l'aide de vitesse spécifique

Ainsi la figure 2.3 suivante résume les domaines d'utilisation des turbines sur des courbes de débit, de hauteur de chute et de puissance :

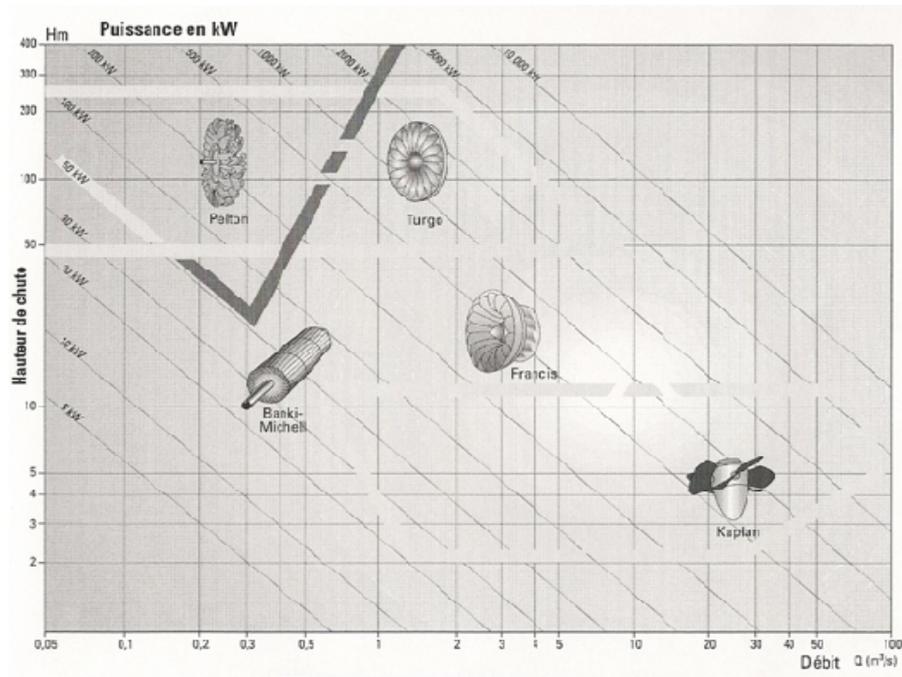


FIGURE 2.3: Les domaines d'utilisation des turbines

2.8 Dimensionnement de la turbine Pelton

Le dimensionnement et l'analyse d'une turbine hydraulique se fait à partir de suivre plusieurs étapes. Nous avons choisi la turbine Pelton comme exemple pour la dimensionner.

Pour dimensionner une turbine Pelton il faut d'abord savoir les triangles des vitesses après on passe au dimensionnement de la roue de la turbine Pelton.

2.8.1 Triangles des vitesses

Pour un angle de 180° entre la sortie de l'auget et le jet d'eau incident que la transformation de l'énergie cinétique est la plus grande.

La vitesse absolue est la somme vectorielle du vecteur de vitesse relative avec le vecteur de vitesse d'entraînement de l'auget. D'après la loi de composition des vitesses comme montré dans la figure 2.4 [7]



FIGURE 2.4: Triangle de vitesse

2.8.2 Dimensionnement de la roue de la turbine Pelton

Les données de référence de la turbine Pelton sont résumées dans le tableau suivant :

Désignations	
Angle des aubes à l'entrée β_1 [°]	15
Angle des aubes à la sortie β_2 [°]	50
Débit Q [m^3/h]	12,4
Diamètre extérieur D_e [m]	0,16
Diamètre intérieur D_i [m]	0,08
Hauteur nette H_n [m]	14
Largeur des aubes l [m]	10
Nombre d'aubes Z [-]	16
Puissance hydraulique P[W]	912,8532
Vitesse de rotation N [tr/min]	1400

TABLE 2.6: Les données de référence de la turbine Pelton

Pour tracer les augets de la turbine, il faut d'abord les dimensionner avec les équations suivantes [8] :

La vitesse absolue de jet d'eau est donnée par :

$$c_1 = k_c \sqrt{2gH_n}$$

Le diamètre du jet :

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi c_1}}$$

La hauteur de l'aube :

$$h = 2,1d \text{ à } 2,7d$$

La largeur de l'aube :

$$b = 2,5d \text{ à } 3,2d$$

La profondeur de l'aube :

$$t = 0,9d$$

Le diamètre de la roue :

$$D = \frac{60u_1 i}{\pi n_G}$$

où i est le rapport de transmission

La vitesse de rotation :

$$n_G = \frac{60u_1 i}{\pi D}$$

L'ouverture de l'aube :

$$a = 1,2d$$

Le rayon de décalage :

$$k \cong (0,1 \dots 0,17)D$$

Le nombre d'aubes :

$$z = \frac{\pi D}{2d}$$

Le nombre d'aubes est calculé en utilisant l'équation suivant :

$$z = 0,5 \frac{D}{d} + 15 \text{ Et } Z > 17$$

Le diamètre extérieur de la roue :

$$D_a = D + 1,2h$$

Conclusion

ce chapitre est consacré au dimensionnement de la turbine. Nous avons commencer par citer les paramètres clé de la turbine, tel que le triangle des vitesses, la vitesse spécifique, et le phénomène de cavitation. Ensuite une conception de la roue de la turbine a été faite. Puis nous avons cité les critères de choix de la turbine en fonction de débit ,de la hauteur de chute, et des paramètres de la turbine. Enfin nous avons pri la turbine Pelton comme un exemple pour la dimensionner.

Chapitre 3

Réalisation d'un programme pour choisir la turbine dans une STEP

Introduction

Ce chapitre est consacré à la réalisation d'un programme pour fixer le choix de la turbine dans une station de transfert d'énergie par pompage. Au premier lieu nous présentons la base des données utilisée pour le choix, où nous avons utilisé le logiciel "hydrohelp". Ensuite nous allons présenter l'interface graphique qu'on a utilisé pour simplifier l'utilisation de ce logiciel. Enfin nous allons faire des essais sur le logiciel, on donnant les caractéristiques de site et on obtient les résultats visés (le type de turbine, la vitesse, le diamètre, et la puissance générée ... etc).

3.1 Logiciel Hydrohelp

Hydrohelp est un logiciel créée par des Canadiens qui est utilisé pour la sélection des turbines pour aider les développeurs et les concepteurs à choisir la turbine la plus adaptée au site. Le programme permet d'évaluer l'enveloppe opérationnelle de toutes les turbines commercialement disponibles. Il rejette les turbines non appropriées et sélectionne la meilleure turbine en fonction du coût approximatif et de d'autres paramètres. le logiciel permet d'avoir tous les détails sur la turbine choisie (le type, les dimensions, et les paramètres de la roue) le

choix de la turbine reste un point cruciale pour la réalisation des STEPs. l'utilisation de ce logiciel permet de faire le bon choix, ce logiciel contient une base des données contenant des équations de critère de choix (voir chapitre 2). en ajoutant les données du site dans le programme, ensuite il calculera les paramètres de la centrale.

3.2 Outil de développement

3.2.1 PyCharm

Est un environnement de développement intégré utilisé pour programmer en Python. Il permet l'analyse de code et contient un débogueur graphique. Il permet également la gestion des tests unitaires, l'intégration de logiciel de gestion de versions, et supporte le développement web avec Django.

Développé par l'entreprise tchèque JetBrains, c'est un logiciel multi-plateforme qui fonctionne sous Windows, Mac OS X et Linux. Il est décliné en édition professionnelle, diffusé sous licence propriétaire, et en édition communautaire diffusé sous licence Apache. La figure 3.1 représente l'interface du programme utilisé (PyCharm) :[9]

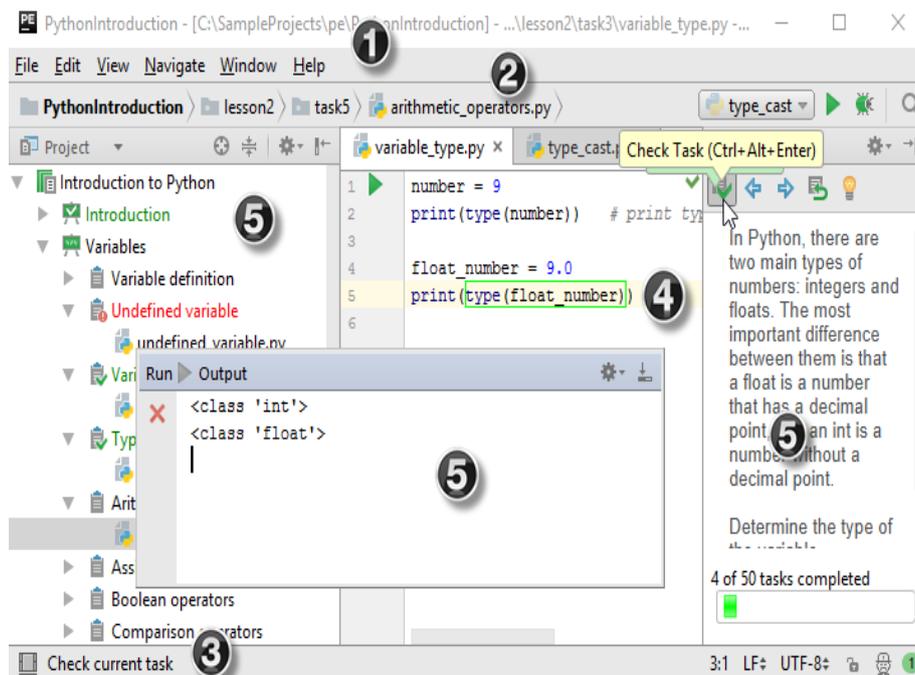


FIGURE 3.1: L'interface de PyCharm

- 1 **Menu principal et barre d'outils** : contiennent des commandes qui affectent l'ensemble du projet ou des parties du projet, telles que l'ouverture, la création d'un projet, la refactorisation du code, l'exécution et le débogage d'applications, le maintien des fichiers sous contrôle de version, etc.
- 2 **Barre de navigation** : Utilisez-le pour naviguer dans votre projet et ouvrir des fichiers pour les éditer.
- 3 **Barre d'état** : indique l'état de votre projet, l'EDI dans son ensemble, et affiche divers messages d'avertissement et d'information.
- 4 **Editeur** : Ici, vous pouvez lire, créer et modifier votre code.
- 5 **Fenêtres d'outils** : fenêtres secondaires donnant accès à la gestion de projet, à la recherche, à l'exécution et au débogage, à l'intégration avec les systèmes de contrôle de version, à la description et à la progression des tâches, ainsi qu'à d'autres tâches.

3.3 Le langage de programmation utilisé

3.3.1 Python :

Python est un langage de programmation inventé par Guido van Rossum. La première version de python est sortie en 1991.

Python est un langage de programmation interprété, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire de le compiler avant de l'exécuter. Si vous avez déjà touché un peu à la programmation, vous verrez que ce langage possède une certaine poésie. Les programmeurs s'amuse souvent à trouver la manière la plus jolie/efficace d'écrire une suite d'instructions.

Python est une plateforme complète et généraliste pour le développement logiciel, très facile d'accès et capable de se spécialiser de manière très pointue dans la quasi-totalité des domaines informatiques. Python est utilisé par un public très large, des développeurs web professionnels, des chercheurs en intelligence artificielle ou en bio-informatique, des administrateurs systèmes, ou même des programmeurs occasionnels.

C'est le mélange de polyvalence et de facilité qui fait la force de Python. Avec un bref apprentissage et un minimum d'efforts, vous serez capable d'envisager n'importe quel type d'application de manière extrêmement efficace et de la terminer (ou de la faire terminer) en

temps voulu.

Aujourd'hui, Python est devenu très populaire auprès des développeurs : beaucoup de projets viennent peupler un écosystème déjà très riche, et ce dans tous les domaines. La plateforme bénéficie donc d'une visibilité croissante, qui s'accroîtra encore dans les prochaines années.[10]

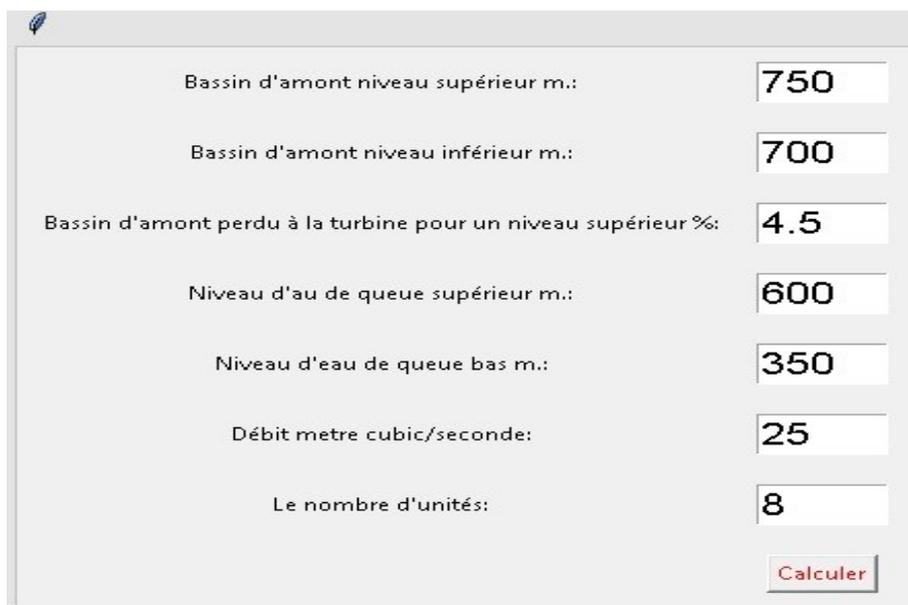
À quoi ressemble la plateforme Python, vue d'en haut ?

- Un langage dynamique, interactif, interopérable et très lisible
- Un vaste ensemble de bibliothèques et Framework spécialisés
- Des outils d'édition, de test et d'industrialisation
- Le support d'une communauté d'entreprises, d'individus et d'associations
- Un marché en forte croissance

3.4 Test de choix :

3.4.1 Test 1 :

Pour une hauteur de chute nette de 150 m, et de débit égal à $25m^3/s$, les résultats de simulation nous donnent les caractéristiques suivantes :



The image shows a screenshot of a software interface for calculating site characteristics. It features several input fields with numerical values and a 'Calculer' button at the bottom right.

Bassin d'amont niveau supérieur m.:	750
Bassin d'amont niveau inférieur m.:	700
Bassin d'amont perdu à la turbine pour un niveau supérieur %:	4.5
Niveau d'eau de queue supérieur m.:	600
Niveau d'eau de queue bas m.:	350
Débit metre cubic/seconde:	25
Le nombre d'unités:	8

Calculer

FIGURE 3.2: Les caractéristique de site

Paramètre	Valeur	type de turbine1:	Horizontal axis, 2 jet, 1runner impulse turbine.	type de turbine2:	Horizontal axis Francis turbine.
Bassin d'amont niveau supérieur m.:	750	vitesse de rotation rpm:	428.57142857142856	vitesse de rotation rpm:	1000.0
Bassin d'amont niveau inférieur m.:	700	Puissance par unité MW:	9.623891674846936	Puissance par unité MW:	3.4206636821668974
Bassin d'amont perdu à la turbine pour un niveau supérieur %:	4.5	Puissance globale de la centrale MW:	76.99113339877549	Puissance globale de la centrale MW:	27.36530945733518
Niveau d'eau de queue supérieur m.:	600	Rendement %:	89.57208262582982	Rendement %:	89.97741143147469
Niveau d'eau de queue bas m.:	350				
Débit metre cubic/seconde:	25				
Le nombre d'unités:	8				

Buttons: Calculer, voir résultats

FIGURE 3.3: Résultats de test 1

Après le calcul des paramètres de la turbine dans l'application, cette dernière nous a permet de savoir :

- Le type de la turbine, cette application nous donne deux choix de turbine qui correspondent aux paramètres de site. Dans ce cas pour une centrale dont les paramètres sont cités au-dessus, on doit utiliser soit la turbine Pelton avec 2 jets, soit la turbine Francis.
- La vitesse de rotation maximale de la turbine, pour la turbine Pelton 428.5 tr/min, et pour la turbine Francis 1000 tr/min
- Le rendement de la turbine entre 89 et 90%
- La puissance de la centrale. Si on utilise Pelton donc on arrive à une puissance de 9.6 MW par unité. Et si on utilise Francis la puissance égale a 3.42 MW.

3.4.2 Test 2 :

Maintenant, pour une hauteur de chute de 100m, et un débit de $30m^3/s$. Les paramètres de la turbine sont donnés par :

A screenshot of a software window titled 'Choix de la turbine' (partially visible). The window contains several input fields for site characteristics:

- Bassin d'amont niveau supérieur m.: 700
- Bassin d'amont niveau inférieur m.: 650
- Bassin d'amont perdu à la turbine pour un niveau supérieur %: 4.5
- Niveau d'eau de queue supérieur m.: 600
- Niveau d'eau de queue bas m.: 350
- Débit metre cubic/seconde: 30
- Le nombre d'unités: 8

At the bottom right, there is a button labeled 'Calculer'.

FIGURE 3.4: Les caractéristique de site

A screenshot of a software window titled 'Choix de la turbine'. The window displays the same input fields as Figure 3.4, along with calculated results for two turbine options:

Paramètre	Valeur	type de turbine1:	Valeur	type de turbine2:	Valeur
Bassin d'amont niveau supérieur m.:	700	type de turbine1:	Vertical axis, 4 jet, 1 runner impulse turbine.	type de turbine2:	No suitable reaction turbine, select impulse
Bassin d'amont niveau inférieur m.:	650	vitesse de rotation rpm:	600.0	vitesse de rotation rpm:	0.0
Bassin d'amont perdu à la turbine pour un niveau supérieur %:	4.5	Puissance par unité MW:	10.140579177785626	Puissance par unité MW:	0.0
Niveau d'eau de queue supérieur m.:	600	Puissance globale de la centrale MW:	81.124625422285	Puissance globale de la centrale MW:	0.0
Niveau d'eau de queue bas m.:	350	Rendement %:	90.58110651659526	Rendement %:	0.0
Débit metre cubic/seconde:	30				
Le nombre d'unités:	8				

At the bottom, there are two buttons: 'Calculer' and 'voir résultats'.

FIGURE 3.5: Resultats de test 2

Cette fois les paramètres de la turbine sont différents par rapport à la turbine précédente, ce qui confirme la fiabilité de l'application. Les nouveaux paramètres de site nous permettent d'utiliser une turbine avec les caractéristiques suivantes :

- Une turbine de type Pelton à axe vertical avec 4 jets
- La vitesse de rotation est de 600 tr/min

- Le rendement de la turbine est presque 91%
- La puissance de l'installation par unité est de 10.14 MW

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé un programme pour fixer le choix de la turbine dans une station de transfert d'énergie par pompage. Tout d'abord nous avons parlé sur la base des données utilisée. Ensuite nous avons passé à l'interface graphique, le langage utilisé, et les outils de développement. Enfin nous avons fait des essais sur l'application, où nous avons remarqué que l'application est une copie en conforme de ce qu'on a vu dans les deux chapitres précédents (elle utilise les critères de choix et les équations des deux chapitres précédents).

Conclusion générale

Les turbines modernes ont été développées à partir de conceptions élaborées au 19e siècle. Mais encore valable aujourd'hui. Pour les petites centrales, le choix de type de la turbine dépend de deux paramètres qui sont le débit et la hauteur de chute.

Notre travail est consacré au choix de la turbine dans une installation.

Dans le premier chapitre nous avons cité les critères de choix de la turbine selon deux paramètres clé (le débit et la hauteur de chute) le choix est fait suivant :

- La turbine Pelton est utilisée pour les hauteurs de chute entre 30 et 500 m, ou plus. Cette turbine est équipée d'une roue à augets qui sont entraînés par des jets d'eau à grande vitesse (la force de l'eau est transmise à la roue). La puissance de la turbine est en fonction de débit, en variant l'ouverture de l'injecteur qui produit le jet avec un pointeau mobile.
- La turbine Francis est la plus utilisée dans les installations à faible et moyenne chute. Elle est installée pour les chutes entre 3 et 100m. La roue de la turbine Francis est contrairement à celle de la Pelton, cette fois c'est une turbine à réaction, la roue est complètement immergée dans l'eau. Des pales mobiles pour le rôle de réguler le débit de cette turbine (les aubes directrices) ce qui rend le coût de cette turbine élevé.
- La turbine Kaplan est une turbine à réaction, elle est utilisée pour les hauteurs de chute entre 2 et 20m et grand débit jusqu'à $1 \text{ m}^3/\text{s}$. sa roue est une hélice, semblable à celle d'un bateau, dont elle est entièrement immergée dans l'eau. Le changement de l'orientation des pales de la roue assure le réglage de débit de la turbine. Cette turbine est utilisée dans les centrales au fil de l'eau, elle intégrée directement dans la conduite.

- La pompe inversée est un dispositif qui peut fonctionner comme turbine, en changeant le sens de rotation, ainsi la direction de l'écoulement (l'entrée de l'eau coté pression et la sortie d'eau coté aspiration). Elle fonctionne comme la turbine à réaction (Francis) pour un débit fixe. Ce type des turbines ne nécessite pas un réglage de débit, le fonctionnement est assuré dans le cas où le débit est constant.

Le deuxième chapitre est basé sur le dimensionnement de la roue de la turbine suivant des équations mathématiques précises. Nous avons commencé par citer les paramètres clé de la turbine, tel que le triangle des vitesses, la vitesse spécifique, et le phénomène de cavitation. Ensuite une conception de la roue de la turbine a été faite. Puis nous avons cité les critères de choix de la turbine en fonction de débit, de la hauteur de chute, et des paramètres de la turbine. Enfin nous avons pris la turbine Pelton comme un exemple pour la dimensionner.

Le dernier chapitre fait d'objet de faire un programme de choix de type de la turbine dans une station de transfert d'énergie par pompage, en utilisant la base des données de logiciel «Hydrohelp». dans le but de faciliter le choix de la turbine juste on donnant les caractéristiques de site.

Bibliographie

- [1] N.INOMATA, K.TSUCHIYA and S.YAMADA. Measurement of stress on blade of nedo 's 500 kW prototype wind turbine, Tohoku Electric Power, 1998 Elsevier Science.
- [2] N.INOMATA, K.TSUCHIYA and S.YAMADA. Measurement of stress on blade of nedo 's 500 kW prototype wind turbine, Tohoku Electric Power, 1998 Elsevier Science.
- [3] Rapport (PACER), en Suisse "Petites centrales hydrauliques –le choix, le dimensionnement et les essais de réception d'une mini-turbine", 1995.-ISBN 724.747.f
- [4] : Leyman's guidebook, 1998. European Small Hydropower Association - ESHA - esha@arcadis.be
- [5] F. Schweiger et J. Gregori, "Developments in the design of water turbines," International Water Power and Dam Construction IWPCDM Vol. 41, pp. 23- 26, 1989.
- [6] Y. Mossoba, "Super System : A Hydroelectric Unit Condition Monitoring System in Operation at Hydro-Quebec," dans Hydraulic Machinery and Cavitation, ed : Springer, 1996, pp. 1152-1161
- [7] Rapport (PACER), en Suisse "Petites centrales hydrauliques, le choix, le dimensionnement et les essais de réception d'une mini-turbine", 1995.-ISBN 3-905232-55-3.
- [8] [http ://blog.desclaude.com/equateur.php?itemid=336](http://blog.desclaude.com/equateur.php?itemid=336). consulté le 28/06/2019
- [9] N. Jeffery, "Local Experience with Micro-Hydro Technology," ed : Alternative Technology Association, 1989. Et Z. Zhang, Pelton Turbines : Springer, 2016.
- [10] Le site officielle de Pycharm www.jetbrains.com consulté le 17/06/2019
- [11] python le développement autrement