

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان
Université ABOU BEKR BELKAID



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en **Hydraulique**
Option : ouvrage Hydraulique

Thème

**Etude de L'opportunité de récupération d'énergie sur le
transfert Beni Bahdel-Oran**

Soutenue publiquement le : 20/06/2018.

Présentée par :

BENYELLES MOHAMED

MRABENT NASSIM

Devant le jury :

M^r. TERKI HASSAINE Taha-El-Amine

Président

M^r. BENADDA Lotfi

Examineur

M^r. BENTALHA Chakib

Examineur

M^r. BOUCHELKIA Hamid

Encadreur

M^r. BENMANSOUR Abdelhalim

Encadreur

Promotion 2017/2018.

DEDICACES

Je tiens à dédier ce modeste travail à la lumière de ma vie : mes chers
parents « *Azize et Nouria* ».

Pour leur plus grand amour, soutien, encouragement de la patience et
de l'aide continue pendant mes années d'études.

Que *DIEU* les gardes.

Mes dédicaces à mon oncle « Fethi »

Je dédie également ce travail à mon cher frère *Abdellah et sa femme*
Sihem.

A mes chères sœurs *Amina & jojo et leurs maries Djamel & Walid*

Aussi à mon ami qui nous a aidée «SIDOU».

Et a mon petit frère qui ma soutenue «**Salim**»

Mes dédicaces à une amie qui m'a trop encouragé : « *Zenagui Faiza* »

B. Mohamed

DEDICACE

Avec l'aide de Dieu, j'ai pu terminer ce travail que je le dédie à :

- ❖ Mes chers parents pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour atteindre ces objectifs, que ceci soit pour eux l'expression de ma profonde gratitude et mon affection la plus absolue.
- ❖ Mon très cher Oncle Benzerhouni Fethi, le soutien moral et les encouragements qu'il a bien consentit pour moi.
- ❖ Mon jumeau Nabil qui compte beaucoup pour moi.
- ❖ Ma chère sœur Meryem, son mari Hichem Chiali et leur enfants Rihem et Wassim.
- ❖ Mes chers cousins et cousines.
- ❖ Ma grande famille qui m'a souhaité le bonheur et la réussite.
- ❖ A tous mes collègues à qui je souhaite tout le bonheur et surtout de l'option ouvrage hydraulique.
- ❖ A tous les enseignants et les responsables de département d'hydraulique et génie civil de l'université de Tlemcen.
- ❖ A mes encadreurs monsieur Bouchelkia Hamid et monsieur Benmansour Halim pour leur conseils, le suivi et l'aide qu'ils n'ont cessé de m'apporter.
- ❖ Mon best binôme Benyelles Mohamed et sa famille.
- ❖ Et pour tout ce qui connaissent MRABENT NASSIM.

M. Nassim

Remerciements

Tout d'abord, on remercie **DIEU** le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr Bouchelkia Hamid et Mr Benmansour Abdelhalim.**

Nous sommes conscients de l'honneur que nous a fait **Mr. Terki Hassaine Taha-El-amine** en étant président du jury, **Mr Benadda Lotfi et Mr Bentalha Chakib** et nous les remercions d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions Madame **Bouchelkia Fadila** pour son aide et son encouragement pendant nos préparations de ce modeste travail. Nous remercions aussi **Mr Meghraoui Mohamed Chef de projet ADE et Mr Beldjilali Habib ancien PDG de l'ADE** pour leurs précieuses aides et leurs encouragements.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos **professeurs** pour leurs générosités et leur grande patience.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin

Mr M-Nassim & Mr B-Mohamed

Table des matières :

Introduction :.....	1
Chapitre I.....	3
I.1. Description du projet de transfert Beni-Bahdel Oran :	3
I.1.1. Définition d'un barrage :.....	3
I.1.2. Généralités sur barrage BENI-BAHDEL :.....	3
I.1.2.1. Caractéristiques principales du barrage de beni-bahdel :.....	5
I.1.2.2. Usine de beni-bahdel :.....	6
I.1.3. Station Bouhlou :.....	7
I.1.3.1. Tronçons souterrain de Beni bahdel :.....	7
I.1.4. Conduite Beni-bahdel Oran :.....	13
I.1.4.1. Description de la conduite :	15
I.1.4.2. Brise-charge intermédiaire :.....	16
Chapitre II.....	18
II.1. Définition d'une turbine :.....	18
II.1.1. Turbine hydraulique :	20
II.2. Paramètres communs de tous les types de turbines :.....	21
II.2.1. Puissance hydraulique d'une turbine :	21
II.2.2. Couple, vitesse de rotation, puissance mécanique et rendement d'une turbine :.....	23
II.2.2.1. Couple :.....	23
II.2.2.2. Vitesse de rotation :.....	23
II.2.2.3. Puissance mécanique ou à l'arbre de la turbine :.....	23
II.2.2.4. Rendement :.....	23
II.3. Courbes caractéristiques d'une turbine :	24

II.3.1. Essais sur modèles réduits :	24
II.3.2. Courbes caractéristiques à vitesse constante :	26
II.3.3. Courbes caractéristiques à vitesse variable :	28
II.4. Lois de similitude :	30
II.4.1. Changement des caractéristiques de fonctionnement d'une turbine donnée :	30
II.4.2. Changement des caractéristiques et de la taille d'une turbine :	31
II.4.3. Paramètres unitaires et adimensionnels :	32
II.5. Classification des turbines – Vitesse spécifique :	33
II.6. Résumé des principaux types de turbines et de leur domaine d'application :	34
II.6.1. Turbines à action :	37
II.6.1.1 Principe de fonctionnement :	37
II.6.1.2. Turbine Pelton :	39
II.6.1.3. Turbine Cross flow :	40
II.6.2. Turbine à réaction :	42
II.6.2.1 principe de fonctionnement :	42
II.6.2.2. Turbine Francis :	43
II.6.2.3. Turbines hélice et Kaplan :	46
II.7. Centrale hydro-électrique :	48
II.7.1. Principe de fonctionnement :	48
II.7.2. Structure d'une centrale de production de l'électricité :	49
II.7.2.1. Turbine :	49
II.7.2.2. Générateur :	50
II.7.2.3. multiplicateurs de vitesse et systèmes de régulation :	50
II.7.2.4. Transformateur :	51
Chapitre III	52

Liste des tableaux :

Tableau II.1 : Centrales électriques suivant le type de fluide.....	19
Tableau II.2 : les relations entre les différents paramètres.....	30
Tableau III.1 : piquages et leur destination (ADE de production maghnia).....	52
Tableau III.2 : le débit dans la conduite en m ³ /s.....	54
Tableau III.3 : la vitesse dans la conduite en m/s	55
Tableau III.4 : Nombre de Reynolds aux différents tronçons.....	56
Tableau III.5 : calcul entre les brises charge (Débit-Vitesse-Nombre de Reynolds).....	57
Tableau III.6 : Pressions aux les brises charge	58
Tableau III.7 : représente les valeurs de Hnet et Q des 4 brise charge.....	63
Tableau III.8 : présentation des paramètres des turbines de chaque brise charge.....	74
Tableau III.9 : Valeurs des puissances des turbines de chaque brise charge en kilowatt.....	74
Tableau III.10 : Débits de chaque brise charge de chaque année. (ADE de production maghnia).....	75
Tableau III.11 : Résultat obtenue avec les débits de l'année 2013.....	75
Tableau III.12 : Résultat obtenue de l'année 2017.....	75
Tableau III.13 : comparaison entre les années.....	76
Tableau III.14 : consommation d'électricité en Algérie	77
Tableau III.15 : Nombre de foyer alimenté en 2012.....	77
Tableau III.16 : Nombre de foyer alimenté en 2013.....	77
Tableau III.17 : Nombre de foyer alimenté en 2017.....	78

Liste des figures :

Figure I.1 : Barrage EGUZON	3
Figure I.2 : Barrage BENI-BAHDEL	4
Figure I.3 : Lac du barrage beni-bahdel	4
Figure I.4 : Maquette géologique et coupe au contrefort C.8.....	5
Figure I.5 : Les voutes de beni bahdel en construction.....	6
Figure I.6 : Usine beni-bahdel.....	6
Figure I.7 : Profil rectangulaire.....	7
Figure I.8 : Profil circulaire.....	7
Figure I.9 : Bassin de compensation Bou hallou.....	8
Figure I.10 : la station de Bou hallou.....	9
Figure I.11 : Schéma de la station de Bou hallou.....	11
Figure I.12 : Répartition des ouvrages sur le long de la conduite.....	14
Figure I.13 : Profil en long de la conduite	15
Figure I.14 : Détaille des tuyaux	16
Figure II.1 : Principe turbine à action.....	19
Figure II.2 : Principe turbine à réaction	19
Figure II.3 : Principe d'une turbine hydraulique.....	21
Figure II.4 : Paramètres pour le calcul de la puissance hydraulique d'une turbine.....	22
Figure II.5 : Forces, couple, vitesse de rotation et puissance mécanique d'une turbine.....	24
Figure II.6 : Schéma de principe d'un banc d'essai pour modèles de turbines hydrauliques...25	
Figure II.7 : Courbes caractéristiques d'une turbine à vitesse de rotation et ouverture constantes.....	27
Figure II.8 : Courbes caractéristiques d'une turbine sous chute constante, ouverture géométrique constante et vitesse de rotation variable.....	29

Figure II.9 : Turbines à action	34
Figure II.10 : Turbines à réaction	35
Figure II.11 : Turbines à réaction	36
Figure II.12 : Principaux types de turbines hydrauliques et domaines d'application	37
Figure II.13 : Schéma d'une turbine à action avec ses paramètres de fonctionnement	38
Figure II.14 : Turbine Pelton à jet unique : centrale de Los Molles (Chili).....	40
Figure II.15.a : Vue en coupe d'une turbine Cross flow avec ses paramètres principaux	41
Figure II.15.b : Composants d'une turbine Cross flow.....	42
Figure II.16 : Image schématique d'une turbine à réaction.....	43
Figure II.17 : Turbine Francis à axe horizontal : centrale de Vianden (Luxembourg).....	44
Figure II.18 : Turbine Kaplan	47
Figure II.19 : Vue d'ensemble d'une centrale hydro-électrique sur canal de dérivation.....	48
Figure II.20 : Hauteur de chute brute et nette d'une petite centrale à conduite forcée.....	49
Figure III.1 : Schéma fonctionnelle d'une conduite assure un débit en route.....	52
Figure III.2 : La ligne piézométrique jusqu'au BC 5.....	58
Figure III.3 : Diagramme de choix des types de mini-turbine	59
Figure III.4 : Turbine cross flow	61
Figure III.5 : Disque Intermédiaire.....	63
Figure III.6 : Domaine d'application sans disque intermédiaire sur le rotor.....	64
Figure III.7 : Domaine d'application pour un disque intermédiaire sur le rotor	65
Figure III.8 : Domaine d'application pour deux disques intermédiaires sur le rotor	65
Figure III.9 : Domaine d'application pour trois disques intermédiaires sur le rotor.....	66
Figure III.10 : Domaine d'application pour quatre disques intermédiaires sur le rotor	66

Figure III.11 : Domaine d'application pour Cinq disques intermédiaires sur le rotor	67
Figure III.12 : Domaine d'application pour six disques intermédiaires sur le rotor.....	67
Figure III.13 : Domaine d'application pour sept disques intermédiaires sur le rotor	68
Figure III.14 : Domaine d'application pour huit disques intermédiaires sur le rotor	68
Figure III.15 : Limites d'application de la conception de la turbine à flux croisé T12, powe f1 sortie, rpm et d-d une	70
Figure III.16 : Points de fonctionnement de la turbine de BC2.....	71
Figure III.17 : Points de fonctionnement de la turbine de BC3.....	72
Figure III.18 : Points de fonctionnement de la turbine de BC4.....	73

Résumer

La production d'énergie électrique se fait par différentes méthodes, en utilisant du gaz naturel et d'autres sources fossiles qui sont en voie d'épuisement et provoquent l'effet de serre et le rejet de CO₂ dans l'atmosphère, et des sources qui sont renouvelables et ne présentent aucun danger sur l'environnement. Parmi ces sources, l'énergie de l'eau. D'où vient l'idée de récupérer l'énergie d'eau du transfert BENI BAHDEL – ORAN.

La conduite de ce transfert a un diamètre de 1100 mm en Béton Projeté, de longueur de 170 km environ, comporte huit brises charges, où nous avons travaillé sur les quatre premiers pour récupérer de l'énergie dissipée en installant des turbines. Parmi les turbines qui existent, nous avons choisi la turbine Banki appelée aussi cross flow qui fonctionne à faible charge. Nous avons pu installer sept turbines et produire une énergie électrique, que nous pouvons alimenter un nombre qui varie entre 70 à 94 foyers.

Mots clés : énergie renouvelable, transfert d'eau, brise charge, turbines, beni bahdel-oran.

ملخص

يتم إنتاج الطاقة الكهربائية بطرق مختلفة ، باستخدام الغاز الطبيعي ومصادر الحفريات الأخرى التي تكون في حالة استنفاد وتسبب التصحر وإطلاق ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ، ومصادر التي هي متجددة ولا تشكل أي خطر على البيئة. من بين هذه المصادر ، طاقة المياه. من أين تأتي فكرة استرجاع الطاقة المائية من نقل بني بهدل لوهران. ويبلغ قطر هذا القناة 1100 مم ، أي حوالي 170 كيلومتراً، تكون من ثماني قطع ، عملنا في الأربعة الأولى لاستعادة الطاقة التي تبدها توربينات التثبيت. بين التوربينات الموجودة ، اخترنا التوربين الذي يسمى بانكي أيضا التدفق المتقاطع الذي يعمل عند حمل منخفض. لقد تمكنا من تثبيت سبعة توربينات وإنتاج الطاقة الكهربائية ، والتي يمكننا توريدها إلى أي مكان من 70 إلى 94 أسرة. كلمات مفتاحية: الطاقة المتجددة ، نقل المياه ، كاسر الأمواج ، التوربينات ، نقل بني بهدل لوهران.

Abstract

The production of electrical energy is done by different methods, using natural gas and other fossil sources that are in a voice of exhaustion and causes the greenhouse effect and the release of CO₂ in the atmosphere, and sources which are renewable and present no danger to the environment. Among these sources, the energy of water. Where does the idea of recovering the water energy from the BENI BAHDEL - ORAN transfer come from.

The conduct of this transfer has a diameter of 1100 mm in Projected Concrete, about 170 km long, includes eight breezes, where we worked on the first four to recover energy dissipated by install turbines. the turbines that exist, we chose the turbine called Banki also cross flow that runs at low load. We have been able to install seven turbines and produce electrical energy, which we can supply to anywhere from 70 to 94 households.

Key words: renewable energy, water transfer, breakwater, turbines, blessed bahdel-oran

Introduction

Introduction :

En Algérie, la majorité de la production d'électricité vient du gaz naturel, qui est une source en voie d'épuisement, par contre les énergies renouvelables qui ont plusieurs sources sont inépuisables, de plus elles n'engendrent aucuns déchets ou d'émissions polluantes et participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO₂ dans l'atmosphère. Parmi ces énergies renouvelables, l'énergie solaire qui produit de l'énergie électrique à partir du phénomène photovoltaïque, l'énergie du vent ; une source qui est utilisé par l'éolienne, l'énergie de l'eau ; sous forme des chutes d'eau sur des turbines pour produire de l'énergie électrique. Les centrales hydrauliques utilise l'énergie de l'eau (débit, pression) pour faire tourner des turbines actionnant des générateurs qui produisent du courant électrique, cette énergie d'eau qu'on trouve dans des grand Oueds ou s'écoule des débits importantes, des barrages de grande hauteur ou la pression de l'eau est très grand au pied du barrage, aussi nous trouvons cette énergie sur des grands transferts d'eau de forte charge dont la nécessité de briser cette dernière pour protéger les équipements et les conduites, ou l'énergie est dissipée sans aucun profit ; alors qu'elle pourra offrir une opportunité pour sa récupération et sa réutilisation pour produire de l'énergie électrique. le transfert de BENI BAHDEL–ORAN qui a été réalisé depuis plusieurs décennies n'utilise aucune énergie extérieure, c'est à dire ne dispose d'aucune station de pompage pour le faire fonctionner ; Seulement par la force de gravité causée par la dénivelée qui existe entre ORAN et le barrage de BENI BAHDEL. Ce transfère comporte huit brises charges ; notre travail consiste à étudier la possibilité d'exploiter l'énergie dissipée sur ces prises charges, ou nous étudierons la possibilité de récupérer celle-ci dans les huit brises charges qui existent dans ce transfert. Pour se faire différents types des turbines existent sur le marché pouvant accomplir cette tâche.

Ce transfert compote déjà deux stations hydroélectriques ; une au pied du barrage et l'autre sur la brise charge BC5, mais malheureusement elles sont à l'arrêt de la raison de la diminution des débits et l'absence d'entretien.

Introduction

Le but est de profiter de l'énergie qui peut être produite par cet important transfert, le récupérer et le transférer sous forme d'électricité par l'installation des turbines. Le choix des turbines à installer sera conditionné par les débits et les hauteurs de chutes à l'entrée des brises charges. Mais puisque, ce transfert a subi plusieurs modifications des débits, suite à l'installation de plusieurs piquages pour alimenter les localités adjacentes suite aux nouvelles affectations des ressources en eau. Un calcul hydraulique selon les nouvelles données s'impose pour pouvoir estimer les débits transitant dans chaque les hauteurs de chute en tête de chaque brise et arrivé à terme de choisir le nombre et le type de turbines à installer en tête de ces derniers.

Pour mener à bien notre étude, nous avons partagé notre travail en trois chapitres.

Dans le premier chapitre nous avons présenté les différentes parties du transfert d'eau à partir du barrage de BENI BAHDEL pour alimenter la ville d'ORAN.

Le deuxième chapitre consiste à présenter des généralités sur les différentes turbines existantes sur le marché, et définir les différents organes qui sont à installer dans les projets des mini stations hydrauliques pour la production de l'énergie électrique.

Le dernier chapitre est consacré sur notre étude à la récupération l'énergie de l'eau qui est transférée à partir du barrage de BENI BAHDEL vers ORAN. De même, nous avons défini, les brises charges susceptibles de recevoir des turbines compte tenu d'un calcul hydraulique détaillé sur ce transfert (pressions et hauteurs de chute). A Terme, définir le type de la turbine appropriées et estimer la capacité de couverture équivalente au nombre de foyer pouvant être alimentées avec l'énergie électrique susceptible à être produite par les installations à projeter.

Chapitre I

Présentation du transfert Beni-Bahdel Oran

Chapitre I

Présentation du transfert beni-bahdel Oran

I.1. Description du projet de transfert Beni-Bahdel Oran :

I.1.1. Définition d'un barrage :

Un barrage est un ouvrage qui est installé à l'exutoire d'un bassin versant coupant un lit d'oued avec l'existence d'une cuvette, qui permet de stocké de l'eau à l'usage d'alimentation d'une agglomération ou d'irrigation et assurer une régulation ou bien produire de l'énergie [1].



Figure I.1 : BARRAGE EGUZON [2]

I.1.2. Généralités sur barrage BENI-BAHDEL :

Ce barrage est parmi les plus anciens, C'est un barrage de type voutes multiples, et à contreforts réalisé sur l'Oued Tafna, au début ce barrage a été destiné pour assurer l'irrigation de la plaine de Maghnia se trouvant sur la rive gauche de la TAFNA au Nord-Ouest de l'ouvrage à quelques vingtaine de kilomètres [3] [4].



Figure I.2: Barrage BENI-BAHDEL [5].

Le barrage draine une surface de 1076 Km² d'un bassin versant qui est composé de roches et de forêt. Il a été réalisé entre 1934 à 1944, et sa mise en service en 1945 [6].



Figure I.3 : lac du barrage beni-bahdel [6].

Ce barrage se trouve sur la rive gauche de la TAFNA au Nord-Ouest de l'ouvrage à quelque vingtaine de kilomètres, Mais voir le problème de manque d'eau de la région oranaise avec les seules ressources qui existe (source de Raz-el-Ain, nappe de Brédéah-Messregin). La solution est d'alimenter cette région à partir de Beni-bahdel qui résulte que le barrage fut surélève de 47 à 54 mètres de hauteur [4].

Le barrage situé dans la daïra de Beni-snous et menacer par les eaux usées non traiter et d'autre décher industriel jeter directement dans l'oued [7].

I.1.2.1. Caractéristiques principales du barrage de beni-bahdel :

Le volume de la retenue normale est de 63 millions de mètre cube (m³), la cote de la retenue maximale est de 655m, Le point culminant du bassin à une altitude de 1284m (Djebel Tounzait). Le thalweg de la vallée à droite du barrage principal est à la cote 600m environ. Ce barrage reçoit régulièrement des apports de 200.000 m³/j avec une pointe de l'ordre de 560.000 m³/j [8].

Le barrage à une longueur en crête de 350m, et une hauteur de 55m avec 11 voutes multiples s'appuyant des contres forts et une largeur de 1,50m [9].

La digue du col-nord à une longueur de 221m avec 31 voute d'une épaisseur de 15cm, et une hauteur de 15m et une largeur de 4m [9].

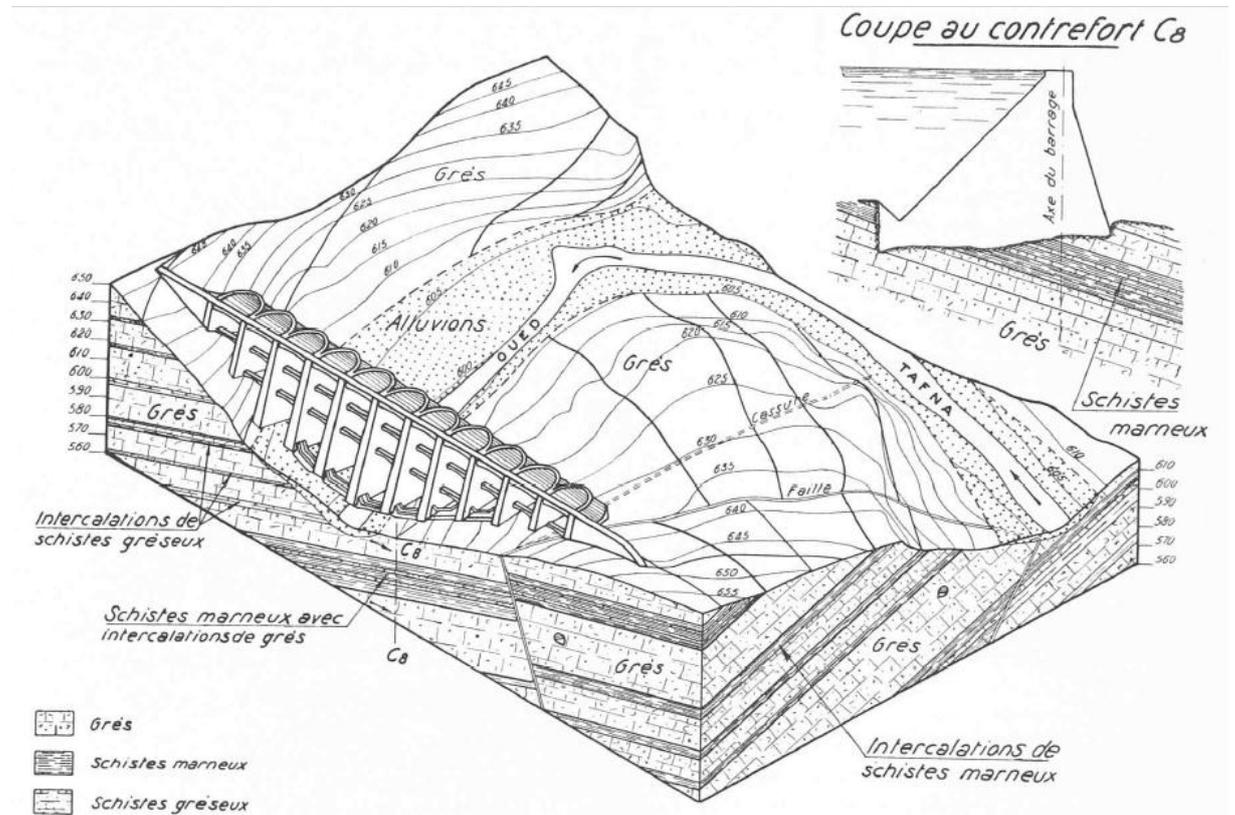


Figure I.4 : maquette géologique et coupe au contrefort C.8 [10].

L'épaisseur des contreforts varie de 5 mètres à la base et 3 mètres au sommet, et le fruit du parement amont correspond à celui de l'axe des voutes est de 0,95. Le parement aval

son fruit à la cote 644m est de 0,30 et 0,05 de la cote 644m à la cote 654m. Ces contreforts s'appuient sur une semelle de fondation en béton armé [10].

Les voutes ont été construites avec une section demi-circulaire, une épaisseur de 0,70 qui reste constante à la crête dans une section droite jusqu'à la cote 640 mètres, après elle augmente de 0,015 mètre par mètre [10].

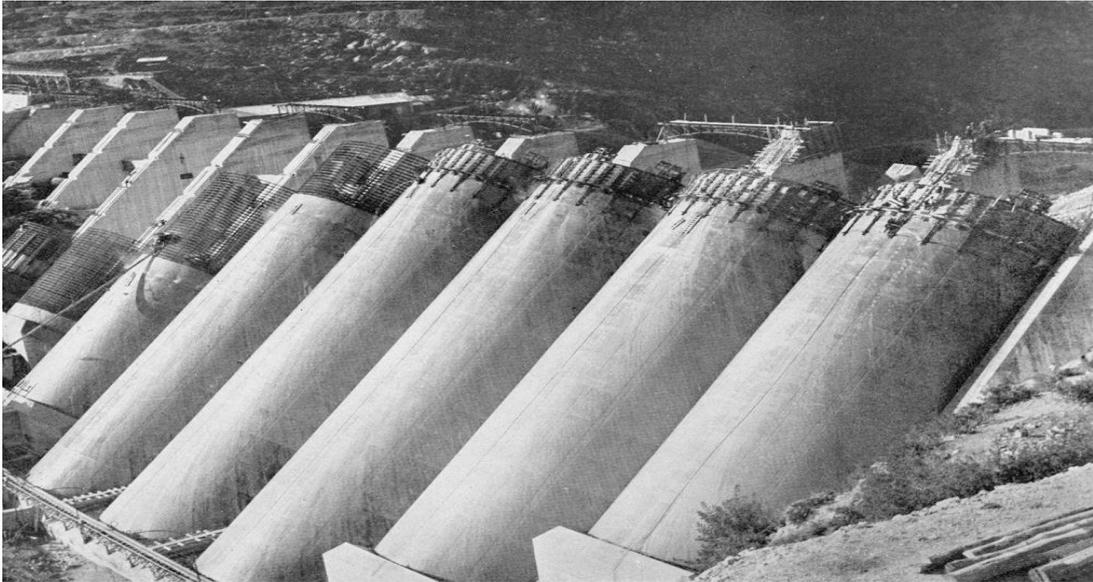


Figure I.5 : les voutes de beni bahdel en construction [11].

I.1.2.2. Usine de beni-bahdel :

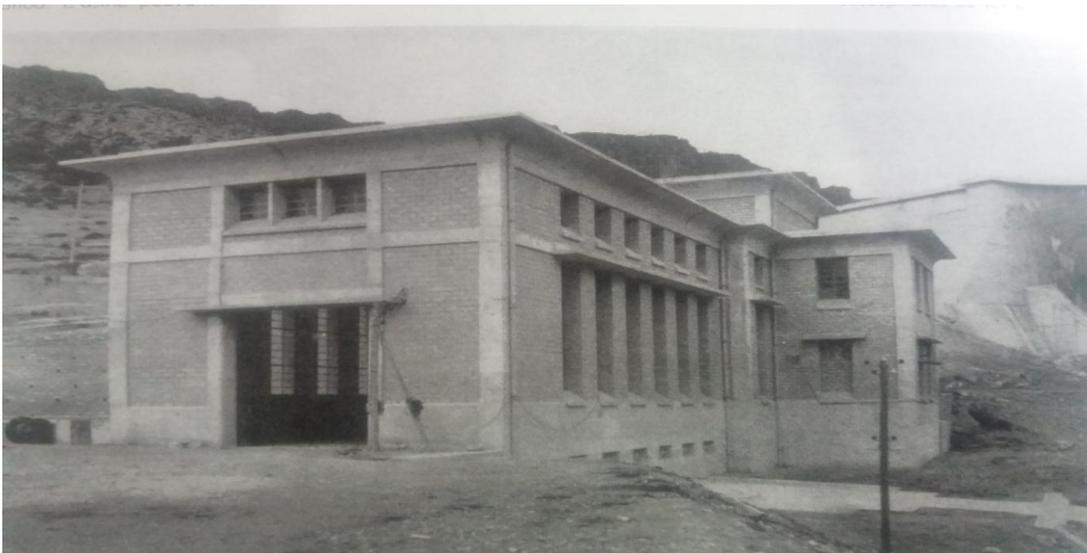


Figure I.6: Usine beni-bahdel [11].

L'usine de Beni bahdel est installée au pied du barrage, elle est destinée à turbiner en pointe toute les eaux lâchées du barrage, la réalisation de cette usine était de 1942 à

1947, elle contient de deux groupe chaqu'un constitue de turbine Francis à axe vertical, un alternateur et un déchargeur. Cette équipement est susceptible d'absorbé une charge de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ sous une chute de 37 m. [10]

I.1.3. Station Bouhlou :

I.1.3.1. Tronçons souterrain de Beni bahdel :

L'écoulement des eaux de l'usine est assuré avec un aqueduc souterrain de longueur de 11,3 km est un débit de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ jusqu'à le bassin de compensation de Bouhlou [12].

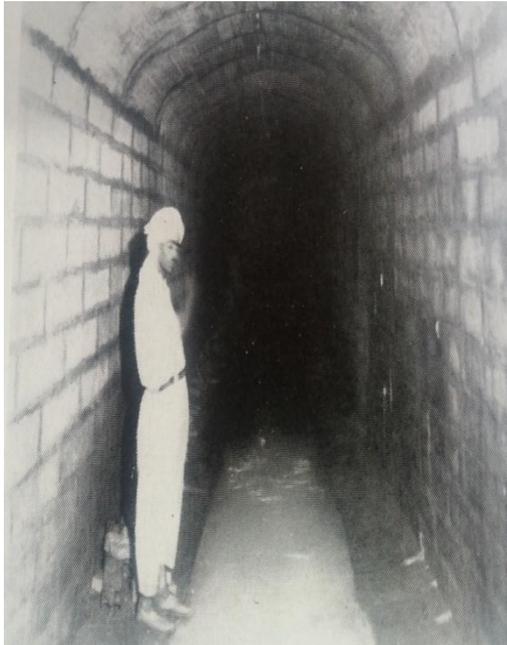


Figure I.7 : Profil rectangulaire [10]



Figure I.8 : profil circulaire [10]

Le souterrain à deux forme de section rectangulaire ou circulaire fixé selon la tenue du terrain traversé [12].

a. Caractéristique des sections du tronçon souterrain :

Section rectangulaire photo I.7 : largeur de 2,25 m, hauteur moulé 1,9 m, rayon hydraulique 0,738, vitesse 1,45 m/s et un débit $6 \text{ m}^3/\text{s}$ et les pieds droits étant constitué par des dalles préfabriqué avec bourrage de béton [10].

Section circulaire photo I.8 : rayon de 2,5 m, hauteur moulé 1,9 m, vitesse 1,49 m/s et un débit $6 \text{ m}^3/\text{s}$ [10].

Les travaux ont été réalisés en deux temps de 1941-1943 puis 1946-1949 Cette interruption correspondant à la période de guère [10].

b. Bassin de compensation :

Le souterraine de Beni bahdel d'éversé dans un bassin de compensation qui a une capacité de 80.000 m³ à Bouhlou le lieu où il est situé, à la cote 604 m. ce bassin a une double utilisation. une utilisation qu'il joue vis-à-vis de l'usine de pied du barrage le rôle de bassin de restitution et être utilisé en point et la deuxième utilisation comme bassin d'accumulation pour les conduites d'Oran et des irrigations de maghnia [12].



Figure I.9 : bassin de compensation Bouhlou [9].

c. Station de traitement Bouhlou :

Figure I.10 : la station de Bouhlou [9].

L'eau qui vient du barrage beni-bahdel rentre au bassin de compensation de Bouhlou, et avant de le transféré à la ville d'Oran.

Il doit assuré une certaine norme de potabilité. Alors une station de traitement est installée à Bouhlou après le bassin de compensation pour assurer sa potabilité.

➤ **Caractéristique de l'eau brute :**

Les eaux collecté au barrage sont origine de la Tafna et l'oued de khemis, elles sont de nature carbonatée calcique, la teneur en matière organique en oxygène est de 1 à 8 mg en milieu acide. En milieu basique elle varie entre 1 à 6 mg [10].

Ces eaux sont bactériologiquement peu polluées, les analyses ont montré les résultats suivant :

- ✓ Germes microbiens.....1000 particule au cm³
- ✓ Microbes liquéfiant la gélatine.....1000 particule au cm³
- ✓ Germes de moisissure.....400 particule
- ✓ Bacterium coli.....750 particule par litre [10].

Ces eaux brutes en période normale sont relativement claires, elles ont une turbidité moyenne de 0.70 à 1m à l'assiette et en période de la crue elle descendre à moins de 0.30 m [10].

➤ ***Caractéristique du traitement :***

Le cahier des charges impose une qualité donnée à l'eau par les installations de traitement.

- ✓ Turbidité : l'eau devra être limpide sous huit mètres, avec contrôle permanent au tube à la sortie de l'ouvrage.
- ✓ Agressivité : le pH devra être aussi que possible du ph d'équilibre.
- ✓ Qualité bactériologique : l'eau filtrée et stérilisée répondra à la norme du conseil supérieur d'hygiène publique de France, et ne devra pas contenir de colibacille dans 100cc [10].

➤ ***Description de la station de traitement :***

Pour assurer la qualité désiré de l'eau après le traitement, une station de traitement est installé à Bouhlou qui utilise la filtration lent avec du sable.

La principale installation de la station de traitement comporte 72 bassin standard et la dimension de chacun est de 153 mètres carré, couvrant plus de 11 000 mètres carré, elle a été urbanisée dans un ensemble architectural bénéficiant d'un site exceptionnel [10].

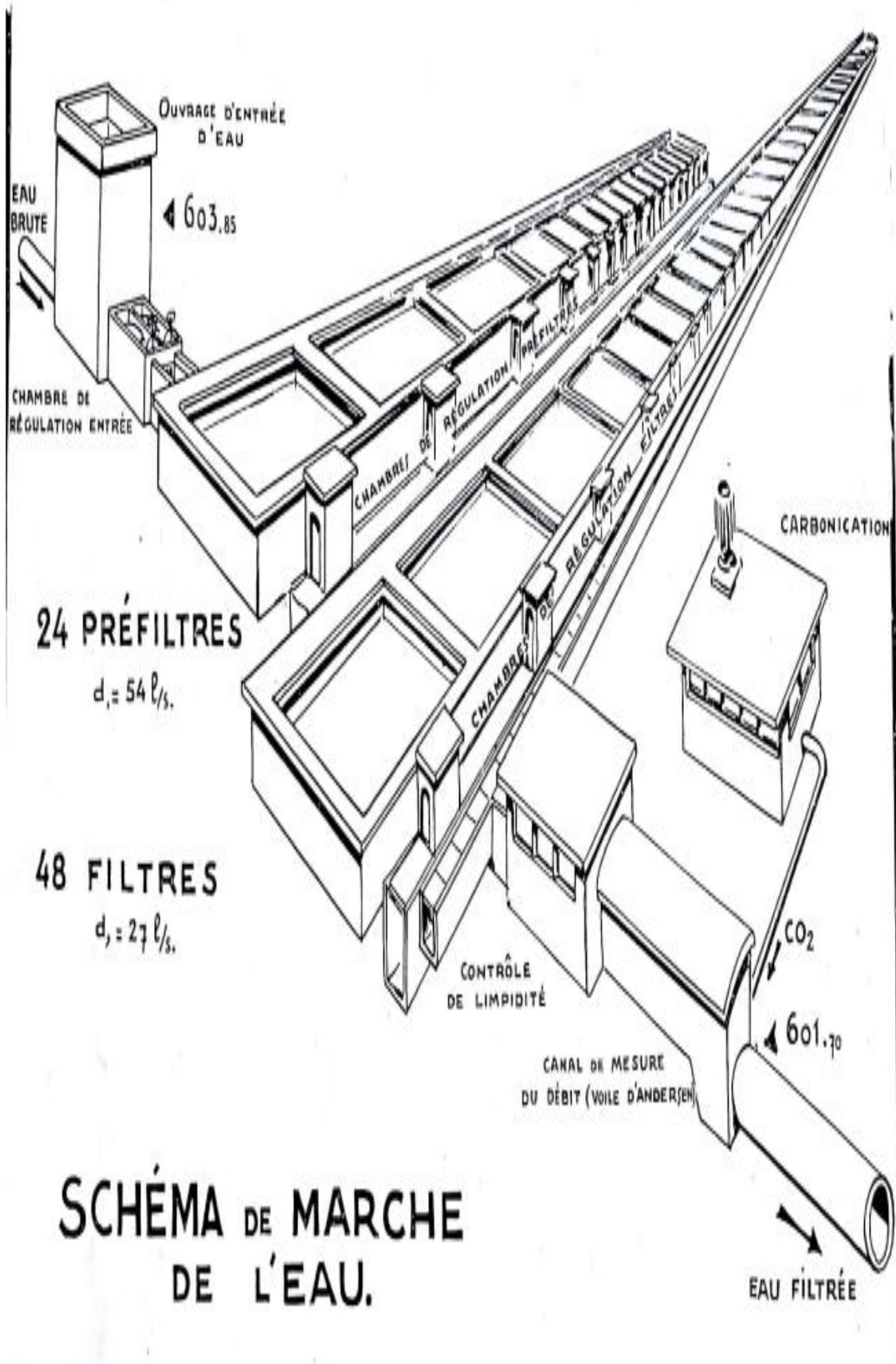


Figure I.11 : schéma de la station de Bouhlou [10].

Les différents éléments qui composent la station de traitement :

- L'ouvrage d'entrée de l'eau, joue le rôle d'une tour d'équilibre à niveau variable à l'amont et aussi contiens des vannes régulatrices a commandé par l'aval.
- Le canal d'alimentation des préfiltres.
- Les bassins proprement dits : 24 préfiltres avec une couche de 65 cm couvrant une surface de 3 672 mètres carrés, et 48 filtres avec une couche de 70 cm qui aussi couvre une surface de 7 345 mètres carrés, les matériaux filtrants utilisés sont des sables siliceux très purs et de granulométries sélectionnées.
- Les blocs de régulation des bassins : 72 chambres, une par bassin sont équipée des appareillages et accessoires plus d'ensembles de régulation par l'aval utilisant une vanne tubulaire.
- Le réservoir d'eau filtrée de capacité de 500 mètre cubes et le bâtiment des pompes.
- Le pavillon de présentation des eaux traitées et l'ouvrage de mesures de débits.
- Une station de carbonisation, la diffusion du gaz carbonique se fait à l'ouvrage de sortie d'eau.
- Les annexes : laboratoire et contrôle, garage, atelier, station de traitement algicide, logement du directeur et de son personnel [10].

I.1.4. Conduite Beni-bahdel Oran :

La ville d'Oran a été dans une insuffisance d'alimentation en eau potable et pour compenser cette insuffisance, on utilise la réserve des Beni-bahdel.

L'aménagement de ce projet repose sur une caractéristique importante, c'est la régularisation des débits sur le long de la conduite qui se fait automatiquement par la demande de l'aval, du bassin de compensation de Bouhlou jusqu'à la distribution d'eau en ville d'Oran, sans intervention d'énergie extérieure ni appel à d'autres phénomènes qu'à l'hydraulique. Donc, l'absence d'une station de pompage dans ce projet, les débits sont réglés en fonction de ce qu'utilisent au moment même les différents usagers. La transmission de la demande aussi bien sur tout le long de la conduite qu'à travers la station de filtration qui est située à Bouhlou, à l'aval des sections situées des vannes à flotteur pour assurer la tâche de cette transmission. En tout point où se produit une rupture de charge et où règne une surface libre. Ces vannes à flotteur maintiennent le niveau d'eau constant ouvrant s'il tend à baisser et inversement. Les pertes d'eau inutilisées sont totalement supprimées, et plus que la conduite reste toujours pleine n'est plus soumise aux coups de bélier dus à l'existence d'air entraîné et mal évacué ni aux oscillations en masse. Cette technique est réalisée pour une première fois à Oran sur une aussi grande échelle [11].

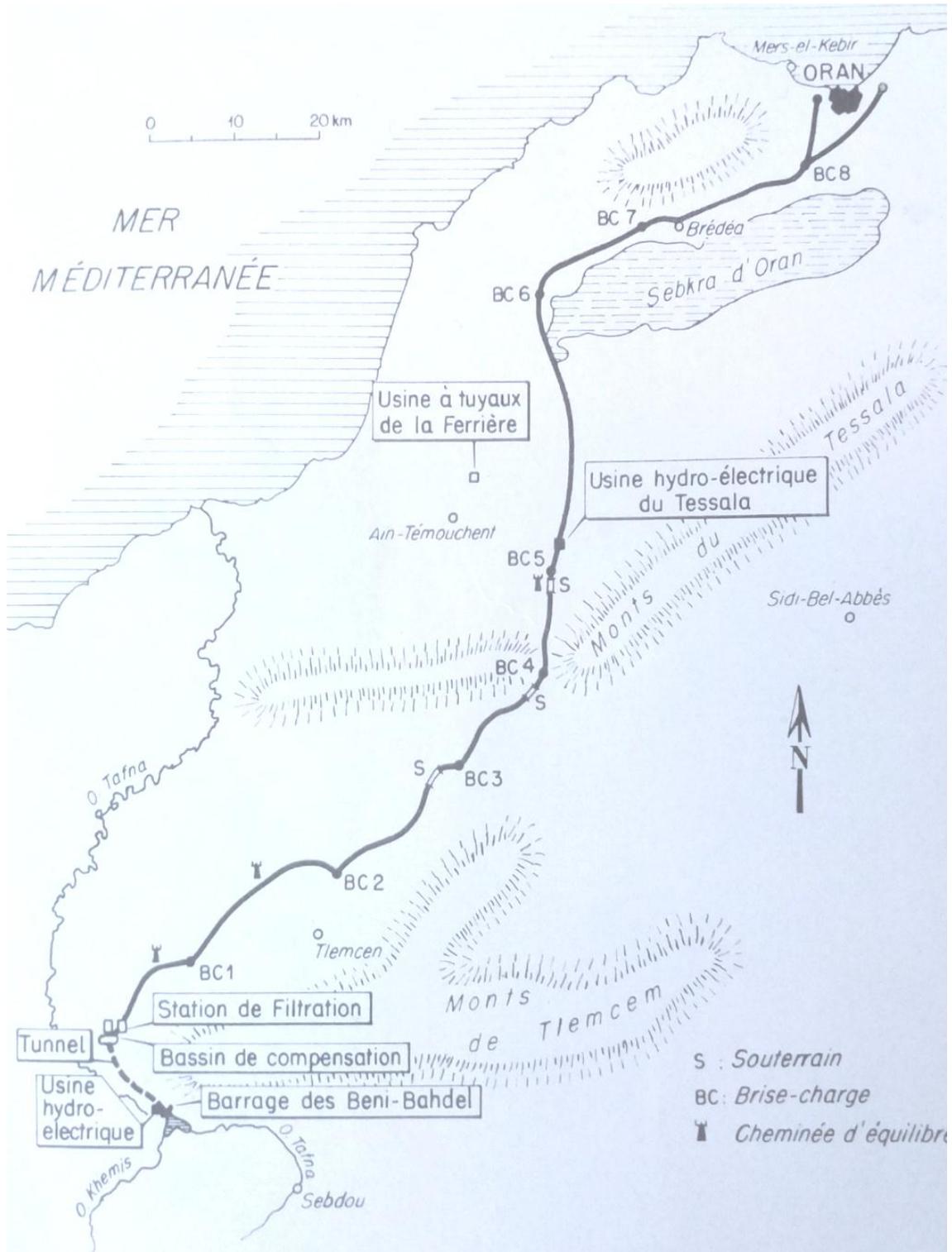


Figure I.12 : répartition des ouvrages sur le long de la conduite [11].

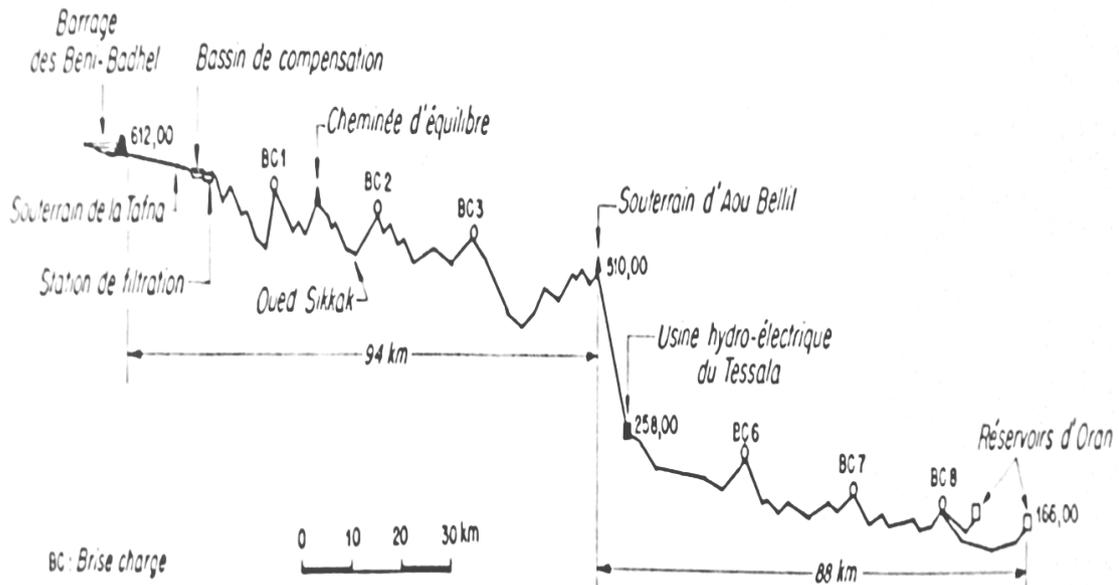


Figure I.13 : profil en long de la conduite [11].

I.1.4.1. Description de la conduite :

La canalisation est fabriquée par des éléments en béton précontraint de 7 mètres de longueur et 1 100 millimètres de diamètres intérieure. L'épaisseur de cette conduite est de 8,6 centimètres et leur poids est de 5 700 kilogrammes. Les tronçons où existe des fortes pressions l'épaisseur de la conduite atteint 12 centimètres et son poids augmente à 8 200 kilogrammes [10].

Chaque tuyau se compose d'un fut primaire en béton centrifugé précontraint longitudinalement, et aux extrémités duquel se trouvent deux couronnes fabriquées en fonte et qui sont appelées «**abouts**». La précontrainte est constituée par des files d'acier (armatures longitudinales) tendues avant chargement du béton et fixées à des oreilles portées par des abouts. Le béton est mis en place par centrifugation et après sa prise la tension des armatures est relâchée. Les pièces d'extrémités donnent alors au béton une compression longitudinale [10].

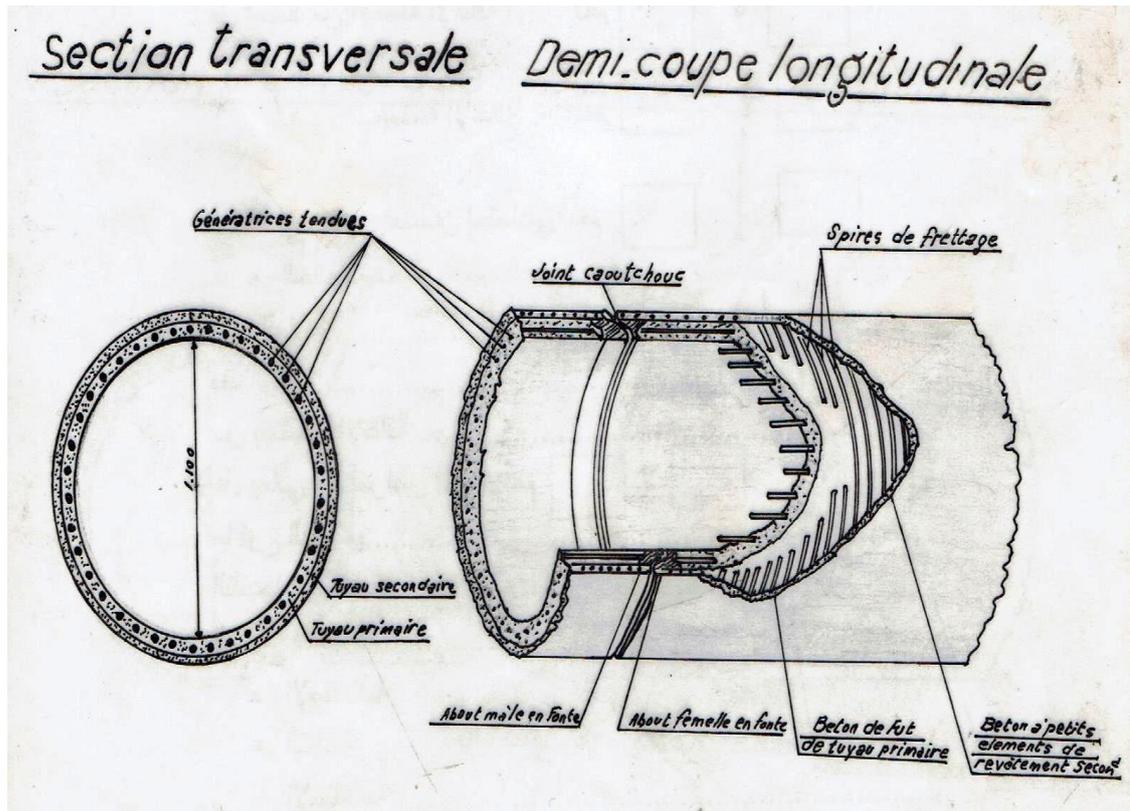


Figure I.14 : détail des tuyaux [12].

La conduite a été calculée pour résister à une charge statique élevée à laquelle il convient d'ajouter une surcharge tenant compte des coups de bélier. Cette considération a conduit à sectionner la conduite à plusieurs tronçons au moyen d'organe appelé «chambres de rupture» ou «brise-charge» dont le rôle est de réduire la charge statique sur chaque tronçon et d'améliorer sensiblement le point de vue «coups de bélier» étroitement lié à la longueur de chaque tronçon et à la charge statique [10].

I.1.4.2. Brise-charge intermédiaire :

Ce sont des ouvrages relativement importants comprenant trois parties distinctes :

- La chambre de mécanismes groupant les organes de réglages automatique de débit convenablement entourée des appareilles de sécurité en vue d'éviter toutes manœuvre dangereuses.
- La retonde centrale où est dissipée l'énergie libérée par la rupture de charge. Son niveau variable et sa surface soigneusement déterminés par de nombreux calculs et essais sur modèle réduit permettent à la conduite de faire face à toutes variations de la demande sans mettre d'oscillation en jeu.

- Le bloc aval enfin contient des organes de contrôle et de sécurité ayant pour rôle de protéger le tronçon faisant suite à la brise charge.

L'appareillage hydraulique comprend tout au long de la conduite :

Un appareillage classique de toute conduite d'adduction.

Les brises charge contient un appareillage spécial principalement de deux chambre :

a. Chambre amont :

C'est dans cette chambre que sont rassemblés les appareils de réglage de débit. Ils comprennent deux vannes papillon de diamètres 800mm et de 175mm montées en parallèle et commandées par des flotteurs qui suivent les variations d'altitudes de plan d'eau dans la chambre de dissipation d'énergie [13].

b. Chambre aval :

Cette chambre abrite une vanne de sécurité, d'étanchéités, appliquées par pression hydraulique. Son rôle est d'obstruer, l'orifice amont du tronçon de la conduite faisant suite à la brise charge. Cette vanne est manœuvré par cerveau moteur à l'huile son ouverture est manuelle et sa fermeture peut être commandée soit manuellement soit par une balance de détection de surtension et de niveau trop bas comme son nom l'indique cet appareil a pour rôle de provoquer la fermeture de la vanne de sécurité lors d'une baisse anormale du plan d'eau dans la brise charge par suite d'un manque d'eau ou d'une insuffisance d'alimentation en amont. Il est important de noter qu'un fonctionnement avec niveau trop bas risquera de provoquer de dangereux entrainement d'air dans la conduite [13].

Chapitre II

Généralités sur les turbines et les stations hydro-électriques

Chapitre II

Généralités sur les turbines et les stations hydro-électriques

L'utilisation de la force hydraulique dans le domaine de la production d'électricité était depuis longtemps majoritaire, après la seconde guerre mondiale les avantages financiers liés au bas prix des matières fossiles, les hauts couts des installations des ouvrages hydroélectriques ainsi que l'avènement du nucléaire qui reléguèrent cette source de production d'électricité au seconde plan [15].

L'hydroélectricité est la plus important et la plus économiques des énergies renouvelable plus elle donne une densité de puissance élevée. Un très bon rendement de transformation et un excellent facteur de rendement parce que sont nombre de kilowatt par heure qu'est produit pendant la durée de vie en comparaisant de l'énergie invertie dans la construction de l'installation. Et elle est favorable à la protection de l'environnement, car elle ne produit pas de gaz à effet de serre, susceptibles de provoquer de profonds changements climatiques. La technologie actuelle repose sur un siècle de développement et d'industrialisation. Il est bien clair que l'hydroélectricité est l'une des ressources énergétiques propres [15].

II.1. Définition d'une turbine :

Une **turbine** est un dispositif rotatif (turbomachine) destiné à utiliser la force d'un fluide (eau, vapeur, air, gaz de combustion), dont le couple est transmis au moyen d'un arbre. L'énergie du fluide, caractérisée par son débit et son enthalpie, est partiellement convertie en énergie mécanique pour entraîner un alternateur (ou tout autre récepteur mécanique rotatif). La conception des turbines conventionnelles est fondée sur deux technologies on distingue les turbines à action qui exploitent l'énergie cinétique du fluide moteur et les turbines à réaction qui exploitent l'énergie potentielle due à la pression ou au poids du fluide (Figure II.1 et Figure II.2) [16].

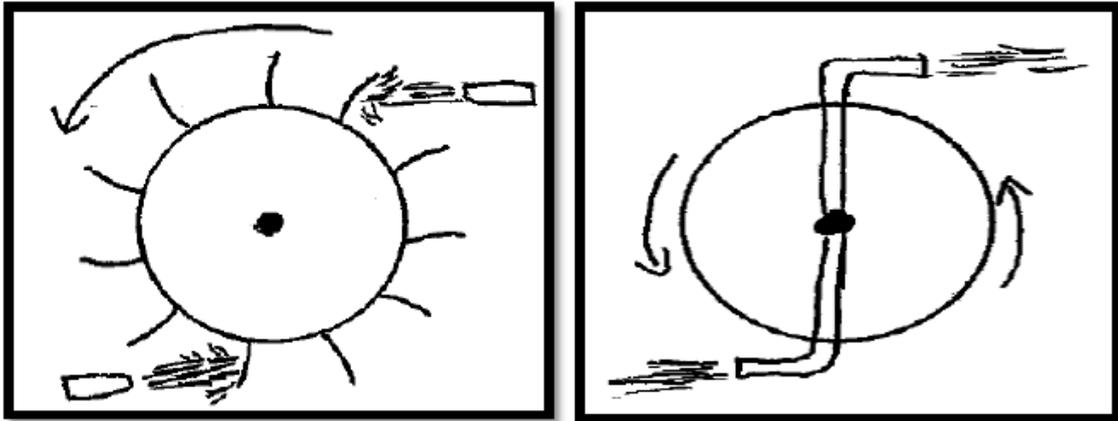


Figure II.1 : principe turbine à action [16] Figure II.2 : principe turbine à réaction [16]

Une turbine est constituée de deux organes essentiels : un distributeur fixe (stator) dont le rôle principal est de donner une orientation convenable aux filets fluides qui pénètrent dans le rotor, une roue mobile (rotor) munie d'ailettes ou d'augets et dont le rôle est de transformer l'énergie du fluide en énergie mécanique. Certaines turbines sont équipées d'un troisième organe appelé diffuseur, destiné à récupérer, sous forme d'énergie de pression, l'énergie cinétique résiduelle du fluide à la sortie de la roue.

Selon le fluide utilisé [17], on distingue plusieurs types de turbines qui définissent les types des centrales électriques. Le tableau II.1 suivant les récapitule :

Tableau II.1 : Centrales électriques suivant le type de fluide [17].

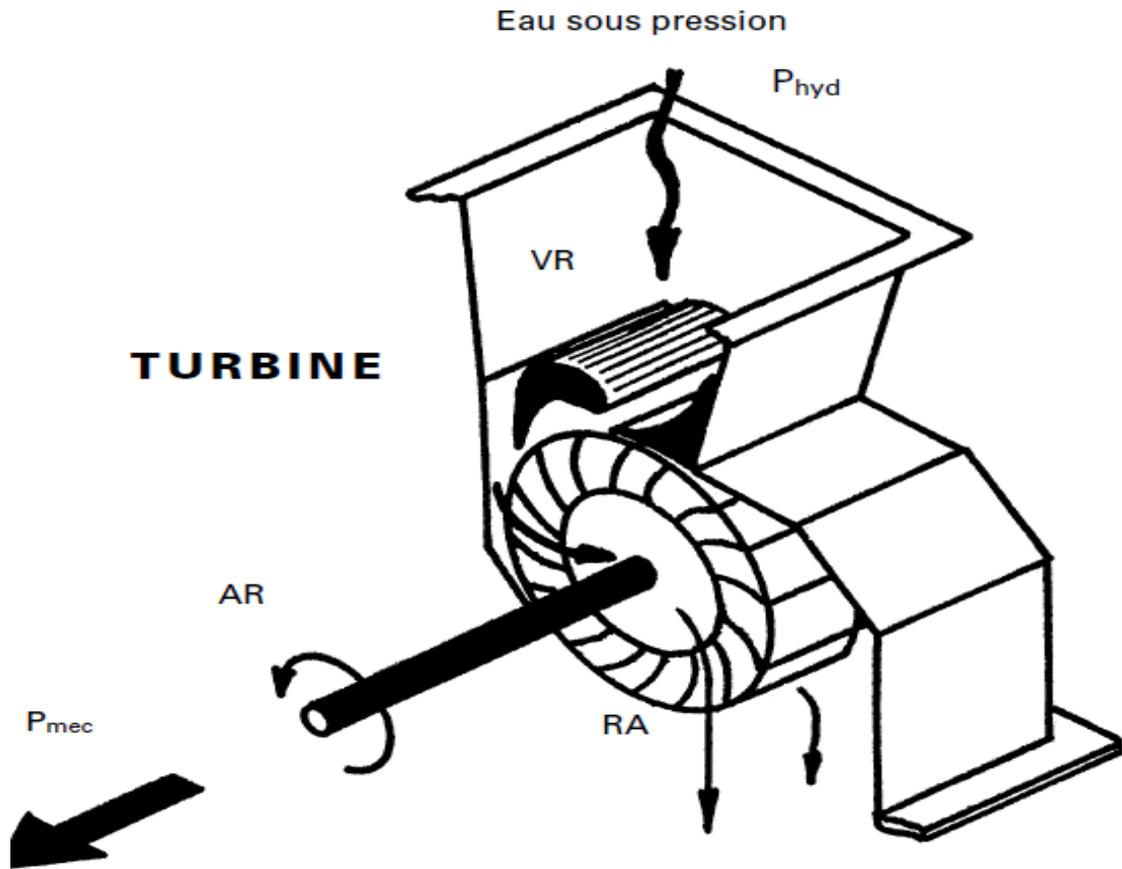
Fluide	Type de turbine	Type de centrale
Vapeur	Turbine à vapeur	Centrale thermique (à combustion fossile, nucléaire, solaire à concentration, géothermique)
Eau	Turbine Hydraulique	Centrale Hydroélectrique Centrale marémotrice...
Gaz	Turbine à Gaz	Centrale à Gaz
Air	Eolienne	Centrale éolienne

II.1.1. Turbine hydraulique :

La Turbine hydraulique transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique par l'action de l'eau sur les pales, les augets ou les aubes d'une roue alors mise en rotation tel qu'il est mentionné dans figure II.3. Une Turbine hydraulique est en effet un appareil de transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie mécanique. En 1832, le physicien suisse Leonhard Euler ébauche la théorie de la réaction à partir de laquelle furent réalisées les premières turbines hydrauliques. Toujours la même année, le français Benoît Fourneyron invente la première turbine à réaction qui sera améliorée par Pierre Fontaine-Barron [18].

L'eau agit par son poids et sa vitesse sur toute la surface du rotor. Dans les turbines hydrauliques à action, les pressions d'entrée et de sortie sont les mêmes ; dans les turbines à réaction, la pression de sortie est inférieure à la pression d'entrée. On distingue plusieurs variétés de turbines hydrauliques [19] : La turbine Pelton qui est une turbine à action employée pour les hautes chutes et les faibles débits. Les augets de la roue mobile sont en forme de ω et le système de distribution est actionné par des servomoteurs. La turbine Francis, à réaction est utilisée pour les moyennes et les basses chutes. Le distributeur est formé de deux flasques plans et parallèles entre lesquels se trouvent les aubes directrices mobiles permettant d'ajuster le débit. La turbine hélice et la turbine Kaplan sont employées pour les basses chutes (5 à 15 m) et sont dotées d'une roue en forme d'hélice dans laquelle l'eau s'écoule parallèlement à l'axe. Dans la turbine Kaplan, les pales de l'hélice sont orientables.

La figure ci-dessous II.3 présente une machine alimentée en eau sous pression, qui met en mouvement une roue à aube et produit de la force, ou puissance mécanique par l'intermédiaire d'un arbre en rotation.



- VR : Vanne de réglage du débit d'eau RA : Roue à aubes ou à augets
 AR : Arbre en rotation P_{hyd} : Puissance hydraulique fournie à la turbine
 P_{mec} : Puissance mécanique délivré par la turbine

Figure II.3 : principe d'une turbine hydraulique [19]

II.2. Paramètres communs de tous les types de turbines :

II.2.1. Puissance hydraulique d'une turbine :

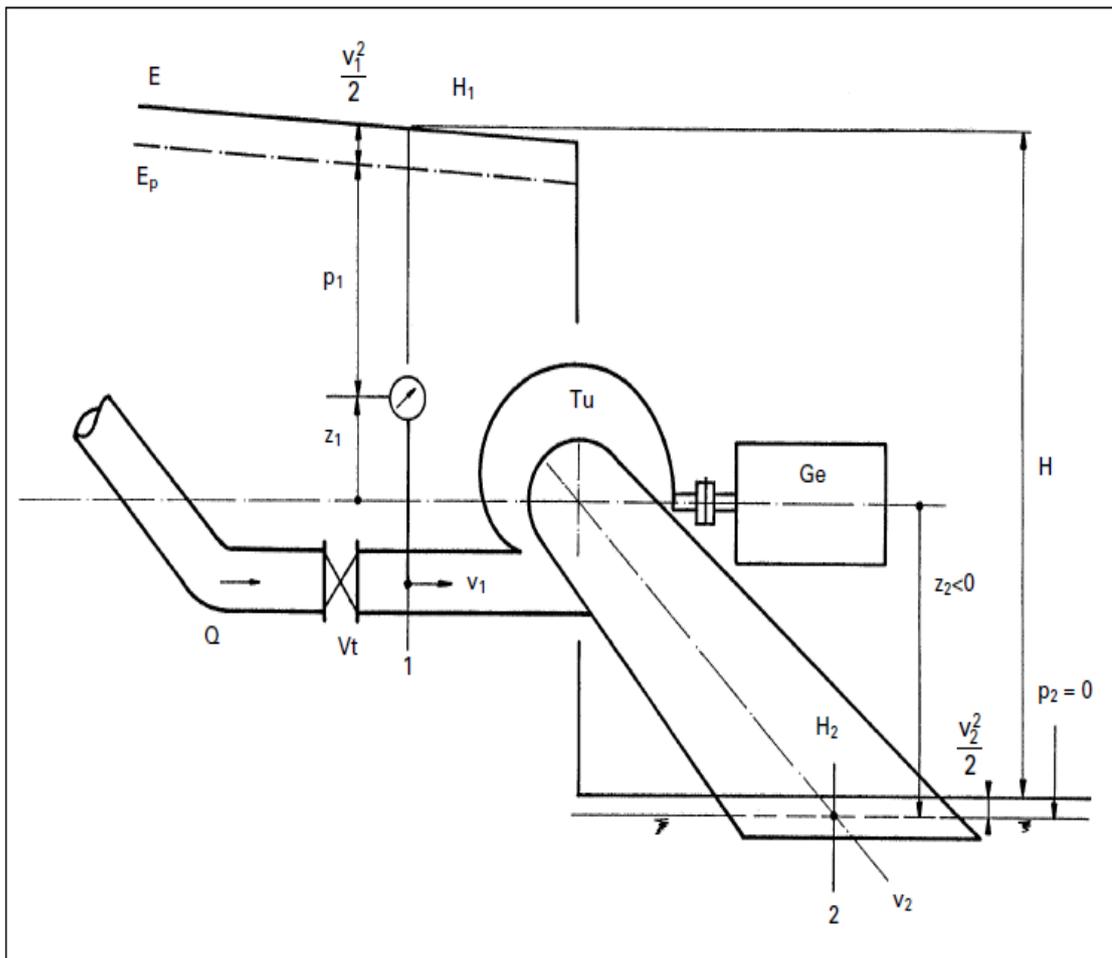
La puissance hydraulique est la puissance fournie à la turbine par l'eau qui l'alimente. Elle est donnée par le produit de l'énergie hydraulique gH avec le débit massique (débit volumique par masse spécifique) $\rho \cdot Q$ [19].

Symbole : P_{hyd} Unité : (W)

$$P_{hyd} = \rho \cdot Q \cdot gH \text{ (W)} \dots \dots \dots \text{(II.1)}$$

les essais de réception des turbines hydrauliques définissent les points de référence à l'amont (1) et à l'aval (2) de la turbine entre lesquels est mesurée la chute ou l'énergie nette.

C'est en ces points que sont placés les instruments servant à mesurer la pression ou le niveau (manomètres ou limnimètres). La figure II.4 montre le principe de mesure et de calcul de la chute nette et autres paramètres nécessaires à la détermination de la puissance hydraulique de la turbine [19].



Vt : vanne turbine

1 : point de référence amont turbine

E : ligne d'énergie (de charge)

2 : point de référence aval turbine

Ep : ligne de pression,

Tu : turbine,

Ge : générateur.

Figure II.4 : Paramètres pour le calcul de la puissance hydraulique d'une turbine [19]

Energie entrée turbine : $E1 = gH1 = \frac{p1}{\rho} + gZ1 + \frac{v1^2}{2}$ (J/Kg)(II.2)

Energie sortie turbine : $E2 = gH2 = \frac{p2}{\rho} + gZ2 + \frac{v2^2}{2}$ (J/Kg)(II.3)

Energie (chute) nette : $E = E1 - E2 = gH1 - gH2$ (J/Kg)(II.4)

Puissance hydraulique : $P_{hyd} = \rho \cdot Q \cdot gH$ (W)(II.5)

II.2.2. Couple, vitesse de rotation, puissance mécanique et rendement d'une turbine :

II.2.2.1. Couple :

Symbole : T Unité : (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 [19].

II.2.2.2. Vitesse de rotation :

Symbole : n Unité : (t / min) ; w (rad / s) ;

Avec : $w = \pi \cdot n/30$(II.6)

Une fois mise en mouvement, la turbine va tourner à une vitesse de rotation déterminée par les conditions d'exploitation [19].

II.2.2.3. Puissance mécanique ou à l'arbre de la turbine :

Symbole : P_{mec} Unité : (W).

De par les lois de la physique, la puissance mécanique est donnée par le produit du couple par la vitesse de rotation [19] :

$$P_{mec} = w \cdot T \text{(II.7)}$$

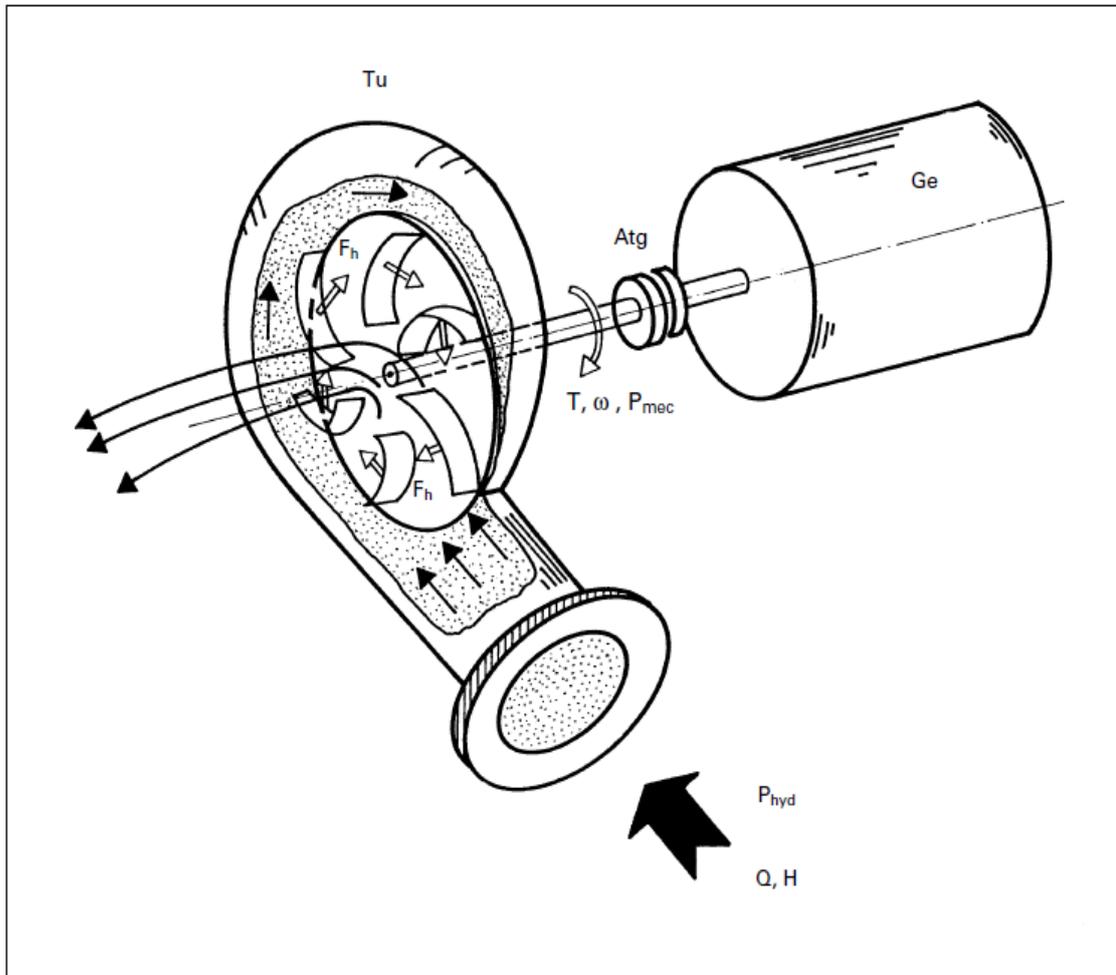
II.2.2.4. Rendement :

Symbole : h Unité : – (ou%)

Toute transformation d'énergie dans une machine donne lieu à des pertes. Il s'ensuit que la puissance obtenue à l'arbre de la turbine, et qui sert à entraîner la génératrice, est inférieure à la puissance hydraulique [19].

Le rapport entre ces deux puissances est le rendement qui est un paramètre définissant la qualité de la turbine [19]. $\eta_t = P_{mec}/P_{hyd}$(II.8)

La figure II.5 montre les paramètres qui sont : Forces, couple, vitesse de rotation et puissance mécanique d'une turbine [19].



Tu : turbine
Ge : générateur
W : vitesse de rotation (rad / s) (ou n en t / min)
T : couple créé par les forces hydrodynamiques F_h (Nm)
 F_h : force hydrodynamique agissant sur une pale de la roue de la turbine
 P_{hyd} : puissance hydraulique (W)
Atg : accouplement turbine-générateur
Q, H : débit et hauteur

Figure II.5 : Forces, couple, vitesse de rotation et puissance mécanique d'une turbine [19].

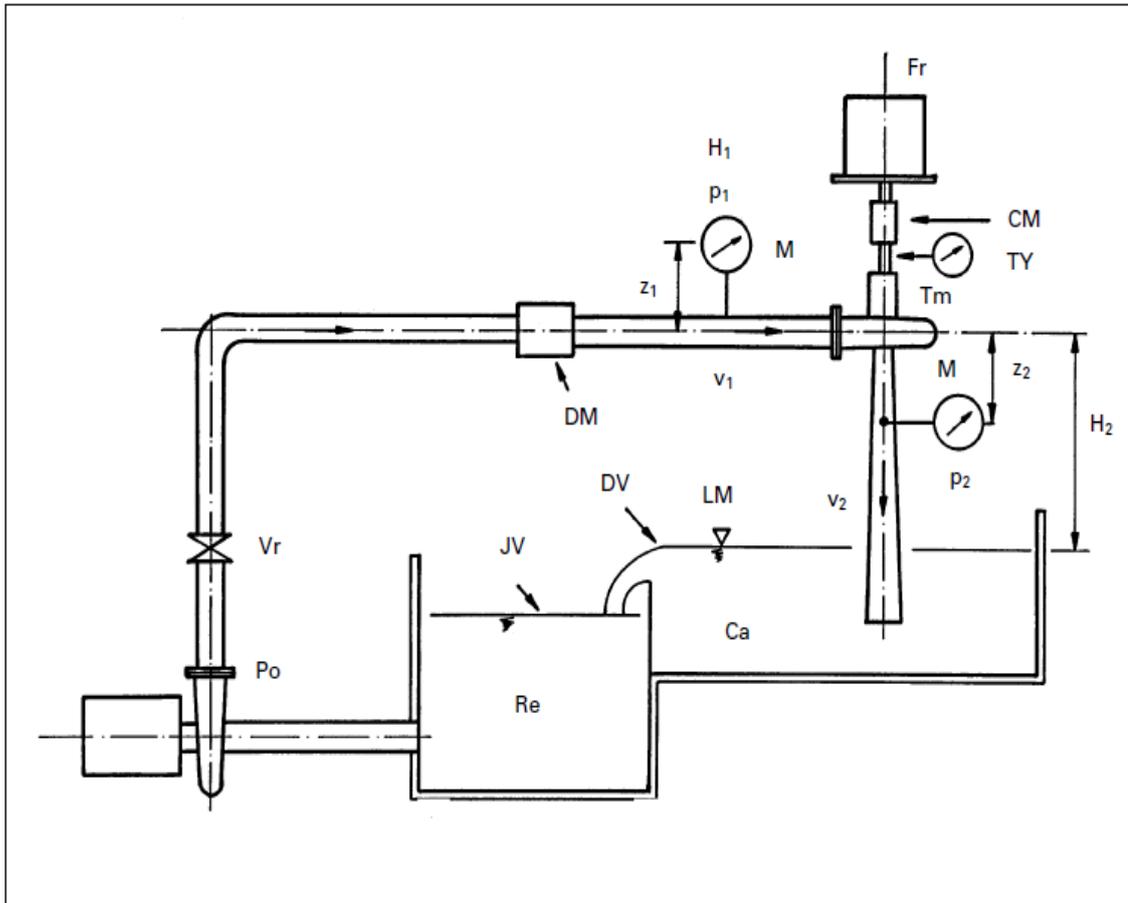
II.3. Courbes caractéristiques d'une turbine :

II.3.1. Essais sur modèles réduits :

Les courbes caractéristiques d'un modèle de turbine sont mesurées sur un banc d'essais, chez le constructeur ou dans un laboratoire spécialisé. Lorsque le constructeur réalise une machine en vraie grandeur, qui sera de forme identique au modèle, les courbes de

fonctionnement, ou courbes caractéristiques, de ce dernier sont converties pour la turbine fabriquée à l'aide des lois de similitude [20].

Le banc d'essai est utilisé pour des essais de modèles de turbines, qui sont représenté schématiquement à la figure II.6 suivante :



Po : pompe d'alimentation créant la chute H

Tm : turbine modèle

Ca : canal

Vr : vanne de réglage

Fr : générateur / frein

Re : réservoir

Figure II.6 : Schéma de principe d'un banc d'essai pour modèles de turbines hydrauliques [19].

Le banc d'essai de la figure II.6 permet d'effectuer les mesures suivantes :

- du débit par : jaugeage volumétrique JV ou déversoir DV ou débitmètre DM
- du niveau par : limnimètre LM
- de la pression par : manomètre M
- de la vitesse de rotation par : tachymètre TY
- du couple par : couple mètre ou dynamomètre CM

II.3.2. Courbes caractéristiques à vitesse constante :

Le fonctionnement normal d'une turbine est à vitesse constante. Il est donc naturel de présenter les courbes caractéristiques pour ce cas de fonctionnement. Pour la mesure, la turbine travaille à une ouverture A fixé du distributeur ou du pointeau de réglage du débit, et l'opérateur varie le débit de la turbine par réglage de la pompe d'alimentation ou de la vanne du banc d'essai. Ce qui donne les courbes (chute-débit, rendement-débit, puissance-Débit) représentées à la figure II.7 ci-dessous :

Q : débit

Q_v : débit à vide

Q_{max} : débit maximum

Q^{\wedge} : débit à rendement maximum

H : chute nette H^{\wedge} : chute à rendement maximum

h : rendement

P_{mec} : puissance à l'arbre de la turbine

A : position fixe de l'organe de réglage du débit

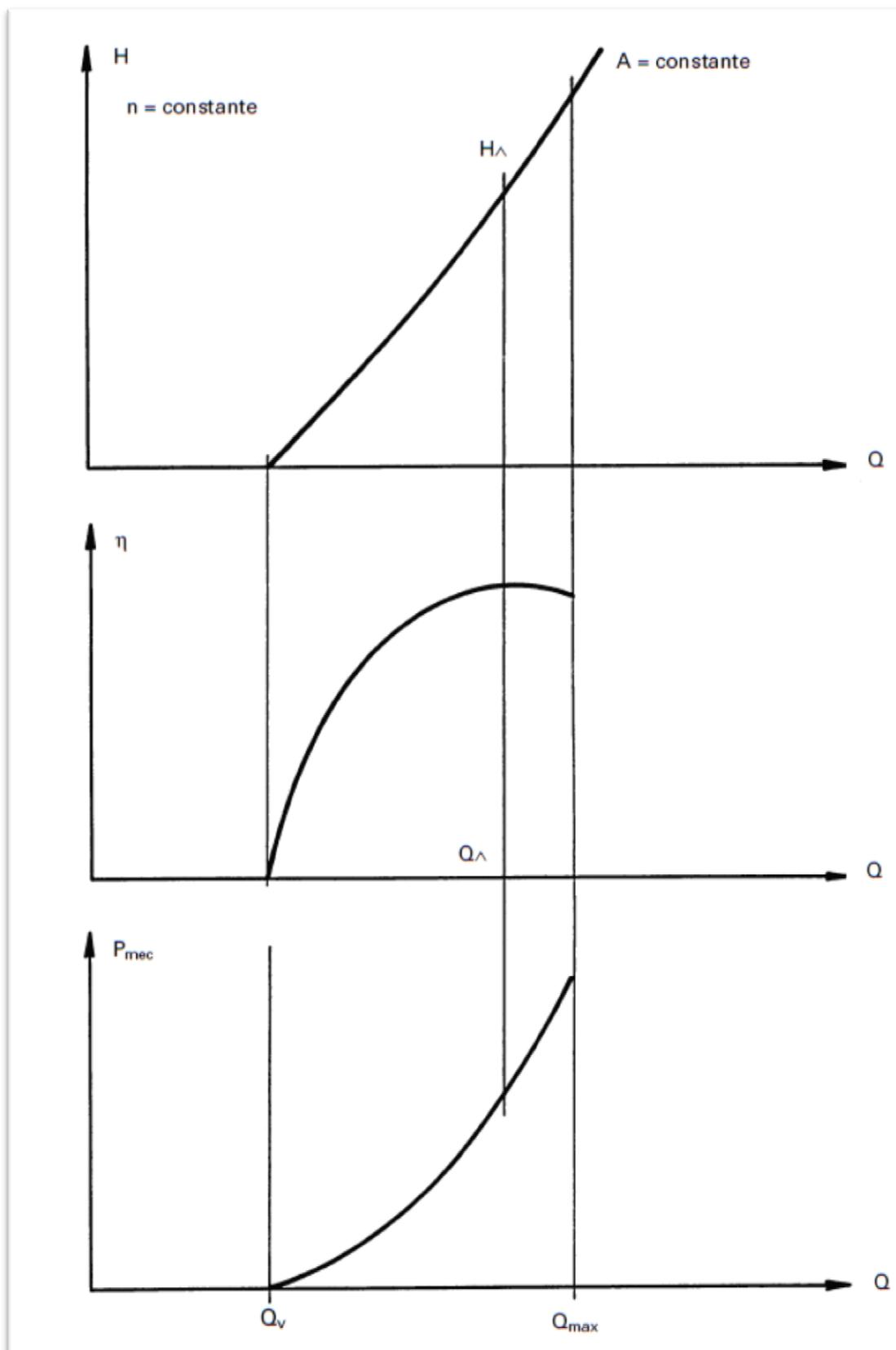


Figure II.7 : Courbes caractéristiques d'une turbine à vitesse de rotation et ouverture constantes [19]

II.3.3. Courbes caractéristiques à vitesse variable :

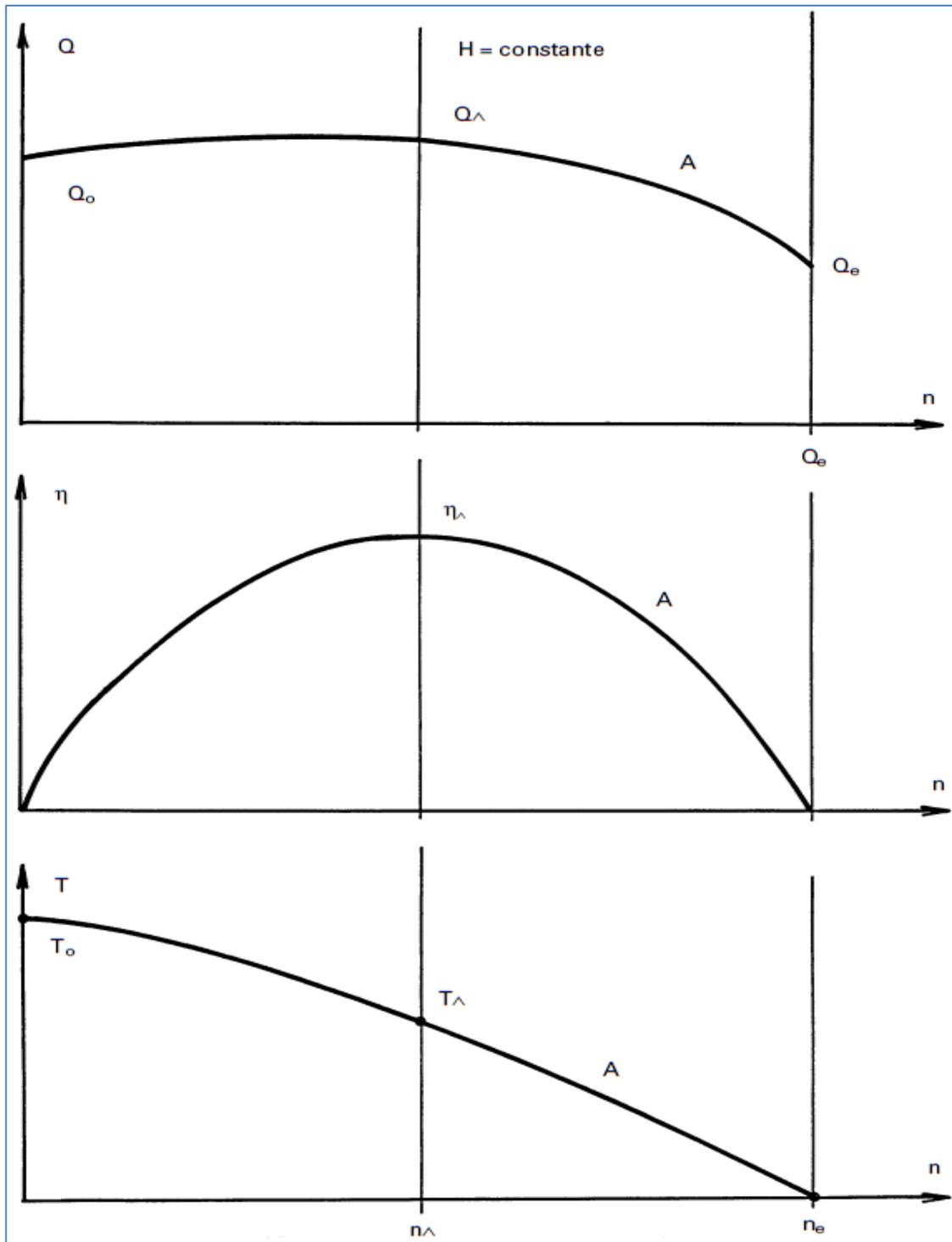
Pour connaître le comportement de la turbine pendant les régimes transitoires (démarrage, mise en décharge brusque et emballement), il est utile d'en connaître les courbes caractéristiques à vitesse variable. Dans ce cas, l'essai est réalisé sous une chute constante, une ouverture de turbine constante et un débit et une vitesse de rotation variables.

Les paramètres obtenus sont les suivants, en fonction de la vitesse de rotation n ce qui est représenté sur la figure II.8) :

- débit Q (utile pour calcul du coup de bélier à l'emballement).
- rendement h
- couple sur arbre turbine (utile pour calculer l'accélération du groupe et dimensionner le volant d'inertie).

De manière similaire aux courbes $Q - H$, ces courbes sont réunies sous forme d'abaque avec une colline des rendements. Pour rendre ces courbes utilisables pour toute grandeur de turbine et toute hauteur de chute, les échelles sont converties sous une forme unitaire :

- le débit Q devient débit unitaire $Q11$
- la vitesse n devient vitesse de rotation unitaire $n11$
- le couple T devient couple unitaire $T11$



Q : débit
 n : vitesse de rotation
 η : rendement
 T : couple

$Q^{\wedge}, \eta^{\wedge}, n^{\wedge}$: valeurs à rendement maximum
 A : position fixe de l'organe de réglage du débit
 n_e, Q_e : valeurs à l'emballement
 Q_0, T_0 : valeurs roue de la turbine bloquée

Figure II.8 : Courbes caractéristiques d'une turbine sous chute constante, ouverture géométrique constante et vitesse de rotation variable [19]

II.4. Lois de similitude :

II.4.1. Changement des caractéristiques de fonctionnement d'une turbine donnée :

Une turbine de dimensions connues travaille sous une chute variable avec une ouverture géométrique donnée. Les relations entre les différents paramètres sont regroupées dans le tableau II.2 suivant :

Tableau II.2 : les relations entre les différents paramètres [19].

chute (m)	H_1	H_2
débit (m ³ /s)	Q_1	$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}$
vitesse de rotation (t/min)	n_1	$n_2 = n_1 \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}$
couple (Nm)	T_1	$T_2 = T_1 \cdot \frac{H_2}{H_1}$
puissance (W ou kW)	P_1	$P_2 = P_1 \cdot \frac{H_2^{1,5}}{H_1^{1,5}}$

Grace à ces formules, il est possible de calculer les nouvelles caractéristiques d'une turbine construite pour un site donné et déplacée sur un autre de chute différente. Ce cas peut se produire lors de l'achat d'une turbine d'occasion [19].

Exemple

Achat d'une turbine Kaplan ayant les données suivantes sur sa plaque signalétique :

$$n = 600 \text{ t /min}$$

$$H = 4.50 \text{ m}$$

$$Q = 2.0 \text{ m}^3 \text{ /sec}$$

$$\text{Puissance à l'arbre : } P = 75 \text{ kW}$$

L'acheteur aimerait installer cette machine sur un site avec une chute plus faible :

$$H = 3.50 \text{ m}$$

Le nouveau débit sera $Q = 2 \cdot \sqrt{\frac{3,5}{4,5}} = \frac{1.76 \text{ m}^3}{\text{sec}} \dots\dots\dots(\text{II.9})$

La puissance sera réduite à $P = 75 \cdot \left(\frac{3,5}{4,5}\right)^{1,5} = 51 \text{ Kw} \dots\dots\dots(\text{II.10})$

Nouvelle vitesse de rotation $n = 600 \cdot \sqrt{\frac{3,5}{4,5}} = \frac{529 \text{ t}}{\text{min}} \dots\dots\dots(\text{II.11})$

Cette turbine ne pourra pas être utilisée avec l'ancienne génératrice.

Etant donné que sa vitesse de rotation n'est pas en correspondance avec la fréquence du réseau (fraction de 50 Hz ou de 3000 t / min), la génératrice devra être entraînée par un réducteur ou une transmission par courroie [19].

II.4.2. Changement des caractéristiques et de la taille d'une turbine :

Les lois de similitude de l'hydraulique permettent de démontrer que les turbines peuvent être classées en fonction de leur forme géométrique, indépendamment de leur taille. C'est ainsi qu'il est possible, à partir d'un modèle réduit, de connaître les performances de toutes les turbines de forme géométriquement semblables au modèle.

Les caractéristiques de fonctionnement sont directement dépendantes d'un diamètre de référence mesuré sur la roue de la turbine.

Modèle : diamètre de référence D_m

Exécution : diamètre de référence D

Rapport des chutes : $\frac{H}{H_m} = \left(\frac{n}{n_m}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{D_m}\right)^2 \dots\dots(\text{II.12})$

Rapport des débits : $\frac{Q}{Q_m} = \left(\frac{n}{n_m}\right) \cdot \left(\frac{D}{D_m}\right)^3 \dots\dots(\text{II.13})$

Rapport des couples : $\frac{T}{T_m} = \left(\frac{n}{n_m}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{D_m}\right)^5 \dots\dots(\text{II.14})$

Rapport des puissances : $\frac{P}{P_m} = \left(\frac{n}{n_m}\right)^3 \cdot \left(\frac{D}{D_m}\right)^5 \dots\dots(\text{II.15})$

Le **rendement** d'une turbine pourra varier de quelques pourcents entre un modèle et son exécution en grandeur réelle. Il ne suit pas une loi de similitude bien définie, mais peut être estimé à partir de formules empiriques présentées, en particulier, dans les normes régissant les essais de réception.

Les différences sont influencées par :

- le rapport des dimensions entre modèle et exécution.
- la qualité de la fabrication (respect des formes, précision et qualité de la finition).

– les conditions d’exploitation (chute, débit, vitesse de rotation).

Le rendement garanti restera donc toujours du domaine de responsabilité du constructeur.

II.4.3. Paramètres unitaires et adimensionnels :

La chute H et le débit étaient habituellement convertis en chiffres adimensionnels y et j, tenant compte des lois de similitude.

Leur définition est la suivante :

Coefficient d’énergie (sans unité) [19] :

$$\Psi = \frac{8.g.H}{\omega^2.D^2} \dots\dots\dots(\text{II.16})$$

Coefficient de débit (sans unité) [19] :

$$\varphi = \frac{8.Q}{\pi.\omega.D^3} \dots\dots\dots(\text{II.17})$$

Débit unitaire :

Débit d’une turbine de 1 m de diamètre fonctionnant sous une chute de 1 m [19].

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2.\sqrt{H}} \quad (m^{1/2}/s) \dots\dots\dots(\text{II.18})$$

Vitesse de rotation unitaire :

vitesse de rotation d’une turbine de 1 m de diamètre fonctionnant sous une chute de 1 m [19].

$$n_{11} = \frac{n.D}{\sqrt{H}} \quad (m^{1/2}.t/min) \dots\dots\dots(\text{II.19})$$

Couple unitaire :

Couple d’une turbine de 1 m de diamètre fonctionnant sous une chute de 1 m [19].

$$T_{11} = \frac{T}{D^3.H} \quad (N/m^3) \dots\dots\dots(\text{II.20})$$

Avec :

H = chute nette (m)

g = accélération de la pesanteur = 9.81 m / s²

ω = vitesse de rotation (rad / s)

n = vitesse de rotation (t / min.) avec $\omega = \pi \cdot n/30$

D = diamètre de référence de la turbine (m)

Q = débit (m³/ s)

T = couple (Nm)

II.5. Classification des turbines – Vitesse spécifique :

Les turbines se trouvent en différents types qui sont classés en fonction d'un seul paramètre qui est dérivé des lois de similitude c'est **la vitesse spécifique**. Il en existe plusieurs définitions, qui peuvent encore toutes se retrouver dans la littérature ou dans la documentation des fabricants [19].

❖ Vitesse spécifique N_s :

Vitesse de rotation, en t/min, d'une turbine travaillant sous une chute de 1 m et délivrant une puissance de 1 kW [19].

$$N_s = n \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}} \dots \dots \dots (II.21)$$

Cette formule a pour inconvénient que le rendement de la turbine est inclus dans la puissance P. Anciennement, et peut être encore aujourd'hui chez certains fabricants, P est indiqué en chevaux vapeur (CV) (1 CV = 0,736 kW) [19].

$$N_{sa} = n \frac{P_{CV}^{1/2}}{H^{5/4}} = 1.166 N_s \dots \dots \dots (II.22)$$

❖ Vitesse spécifique n_q :

Vitesse de rotation, en t/min, d'une turbine travaillant sous une chute de 1 m avec un débit de 1 m³/s [19].

$$n_q = n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \dots \dots \dots (II.23)$$

❖ Vitesse spécifique n [19] :

$$v = \omega \frac{(Q/\pi)^{1/2}}{(2.g.H)^{3/4}} = \frac{\varphi^{1/2}}{\Psi^{3/4}} \text{ (sans dimensions)} \dots \dots \dots (II.24)$$

n est un chiffre équivalent à n_q , mais sans dimensions

$$n = 0.00634 \cdot n_q$$

Unités : H (m)

Q (m³/ s)

n (t / min)

P (kW)

ω (rad / s)

II.6. Résumé des principaux types de turbines et de leur domaine d'application :

La figure ci-dessous II.9 présente les turbines à action qui sont turbine Pelton et turbine cross flow et leur domaine d'application.

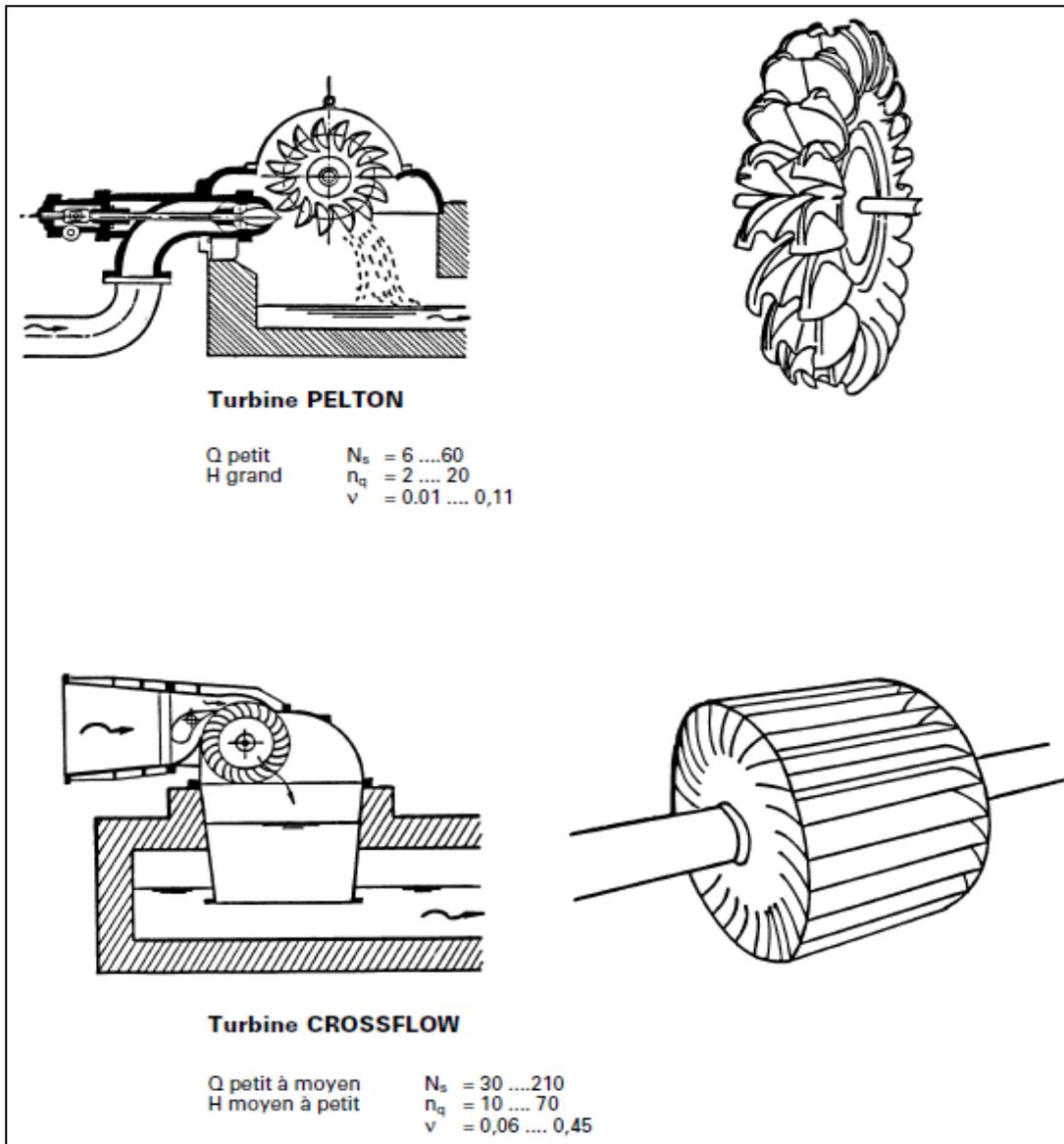


Figure II.9 : Turbines à action [19]

La figure ci-dessous II.10 présente les turbines à réaction qui sont turbine Francis et turbine Kaplan et leur domaine d'application.

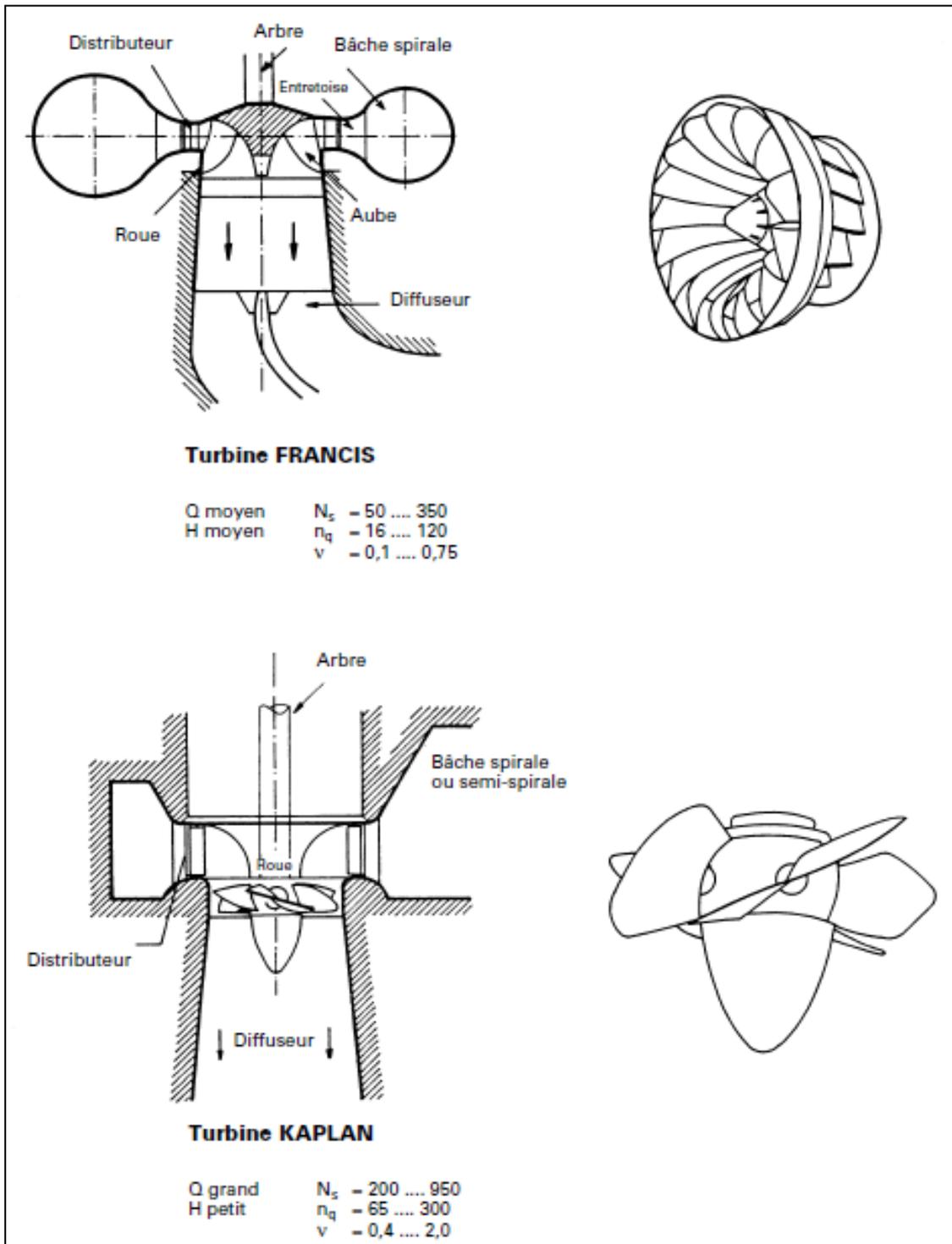


Figure II.10 : Turbines à réaction [19]

La figure ci-dessous II.11 présente le fonctionnement en pompe et l'inverse en turbine.

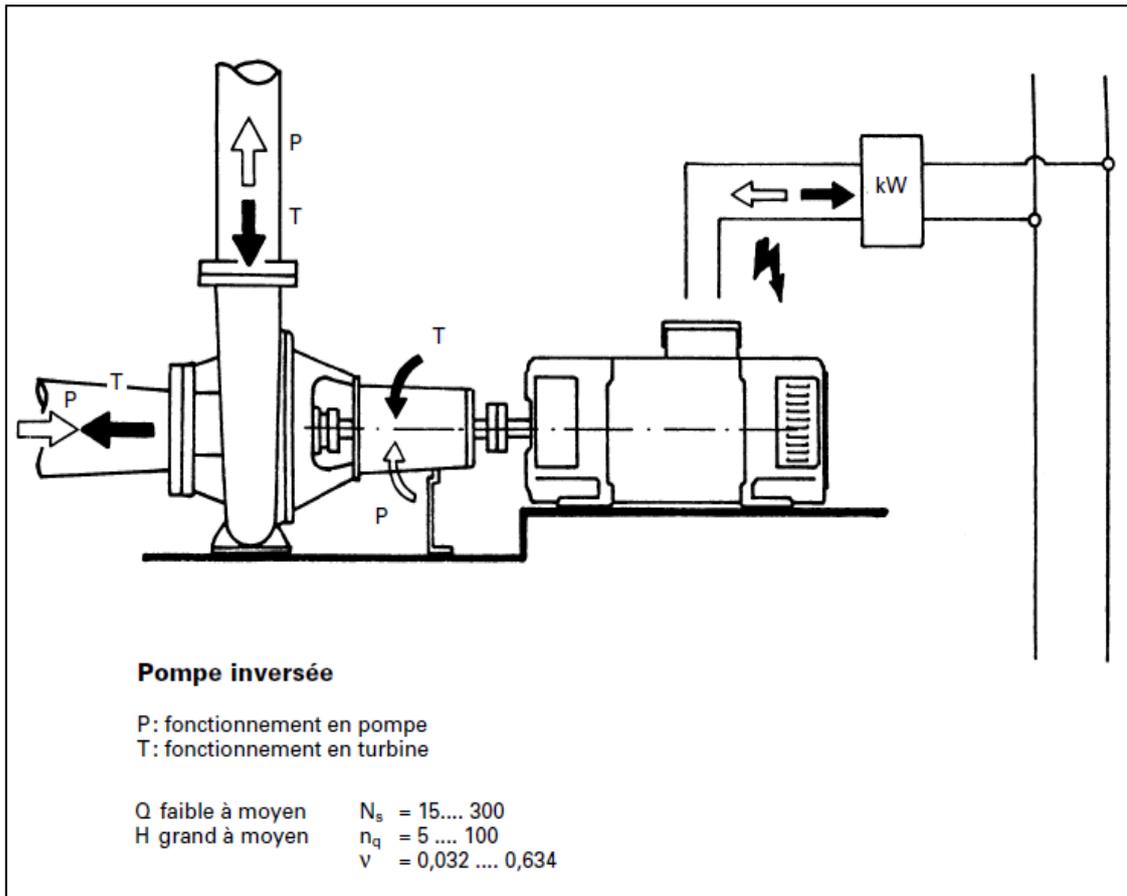


Figure II.11 : Turbines à réaction [19]

La recherche de solutions techniquement sûres et économiquement fiables pour l'exploitation des sites hydrauliques a imposé au fil des ans un petit nombre de types de turbines [20]. Chacun de ces types a un domaine d'application privilégié, Sans parler de la mini-hydraulique dont les critères de choix reposent sur d'autres bases, on distingue trois familles de turbines pour la production hydro-électriques industrielle.

La figure ci-dessous II.12 résume les domaines d'utilisation des turbines sur des courbes de débit, de hauteur de chute et de puissance.

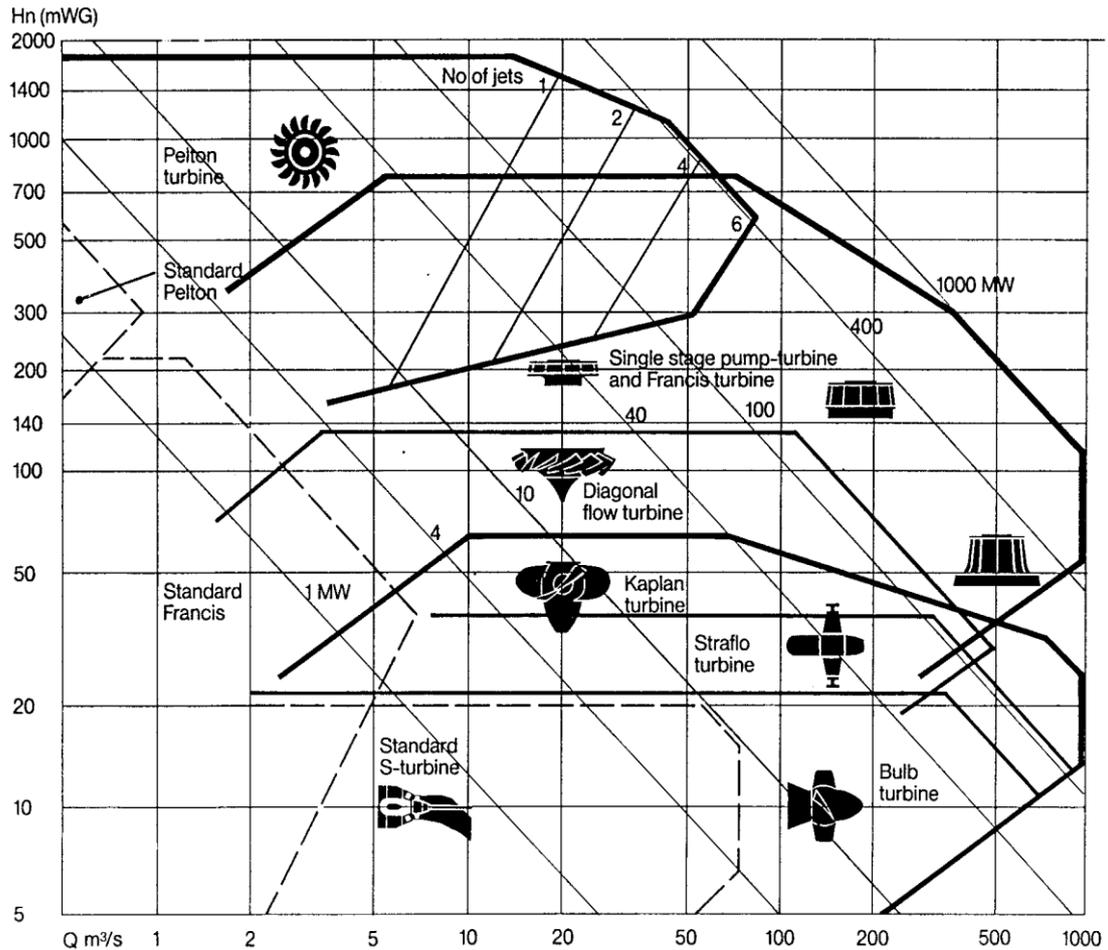


Figure II.12 : Principaux types de turbines hydrauliques et domaines d'application [21]

II.6.1. Turbines à action :

II.6.1.1 Principe de fonctionnement :

Un jet libre agit sur des augets ou des aubes profilées placées sur la périphérie d'une roue (action). Ce jet exerce une force sur l'auget en mouvement de rotation, qui est transformée en couple et puissance mécanique sur l'arbre de la turbine. La turbine à action est caractérisée par le fait que l'énergie à disposition de l'aubage est entièrement sous forme d'énergie cinétique. L'échange d'énergie entre l'eau et l'aubage a lieu à pression constante, généralement la pression atmosphérique. La roue de la turbine est dénoyée et tourne dans l'air [22].

II.6.1.2. Turbine Pelton :

La turbine Pelton est constituée par une roue à augets qui est mise en mouvement par un jet d'eau provenant d'un injecteur. Les augets sont profilés pour obtenir un rendement maximum tout en permettant à l'eau de s'échapper sur les côtés de la roue. Ils comportent une échancrure qui assure une pénétration progressive optimale du jet dans l'auget. L'injecteur est conçu pour produire un jet cylindrique aussi homogène que possible avec un minimum de dispersion. Une turbine Pelton peut être équipée de plusieurs injecteurs, jusqu'à 6. Le débit est réglable à l'aide d'un pointeau mobile à l'intérieur de l'injecteur, 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. Ce déflecteur est souvent manœuvré par un ressort ou un contrepoids qui permet sa mise en action sans nécessiter de source d'énergie extérieure [19].

La turbine Pelton est une **turbine à injection partielle et à veine libre**, sa roue tourne dans l'air. La détente de l'eau jusqu'à la pression atmosphérique est donc effectuée entièrement dans le distributeur de la machine, l'énergie étant disponible à l'entrée de la roue uniquement sous forme d'énergie cinétique, ce qui correspond à la définition d'une machine à action. Cette turbine ne comporte pas de diffuseur, à la sortie de la roue, l'eau s'écoule librement [23].

La figure ci-dessous II.14 montre une turbine à injection partielle et a vanne libre.

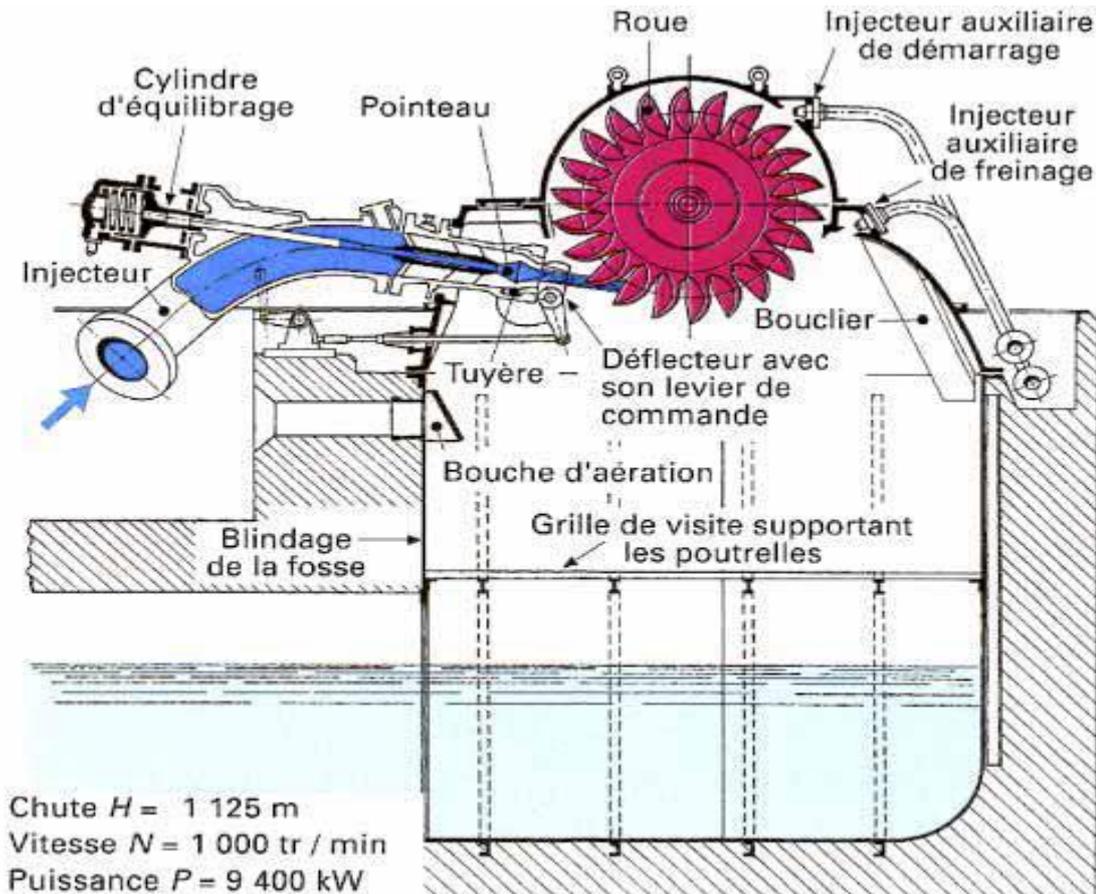


Figure II.14 : Turbine Pelton à jet unique : centrale de Los Molles (Chili) [23].

II.6.1.3. Turbine Cross flow :

La turbine Cross flow, appelée aussi turbine à flux traversant, est une machine à action qui a ceci de particulier que l'eau traverse deux fois la roue.

De construction simple, elle est constituée de trois parties principales

- un injecteur de section rectangulaire et dont le débit est réglé à l'aide d'une aube profilée rotative, similaire à une vanne papillon. Afin d'assurer un arrêt de la turbine sans énergie d'appoint, la fermeture est souvent réalisée à l'aide d'un contrepoids, et l'ouverture par un vérin hydraulique.
- une roue en forme de tambour, dotée d'aubes cylindriques profilées.
- un bâti enveloppant la roue et sur lequel sont fixés les paliers de la turbine.

La turbine Cross flow est de construction simple, ce qui a conduit à sa popularité dans les pays en voie de développement. La roue, traversée deux fois par l'eau, est autonettoyante : les débris bloqués sur l'aubage à l'entrée de la roue sont chassés par l'eau qui en sort.

En contrepartie, le rendement maximum de ce type de turbine est moyen et reste compris, pour une machine de bonne qualité, entre 80 et 83%. La vitesse de rotation est

généralement basse ce qui fait qu'un multiplicateur à engrenages ou à courroie doit être intercalé entre turbine et générateur.

Cette machine peut être aussi source de bruit et de vibrations générés par le choc périodique de l'eau sur les aubes cylindriques de la roue qui sont relativement élastiques (lames d'acier).

Suivant la disposition du site, l'admission de l'eau est **soit verticale soit horizontale**.

Le contrôle du débit se fait via un faible couple de manœuvre sur **une ou deux vannes spécialement profilées**, équipées d'un **axe en inox et étanches à la fermeture**. Celles-ci séparent le flux d'eau en deux et le mettent en forme afin qu'il pénètre sans choc dans le rotor.

La commande de ces modérateurs de débit peut être réalisée facilement par vérins électriques, vérins hydrauliques ou manuellement [24].

La figure ci-dessous II.15.a présente les trois parties principales de la turbine cross flow qui est de construction simple.

- Un injecteur de section rectangulaire et dont le débit est réglé à l'aide d'une aube profilée rotative
- Une roue en forme de tambour, dotée d'aubes cylindriques profilées.
- Un bâti enveloppant la roue et sur lequel sont fixés les paliers de la turbine.

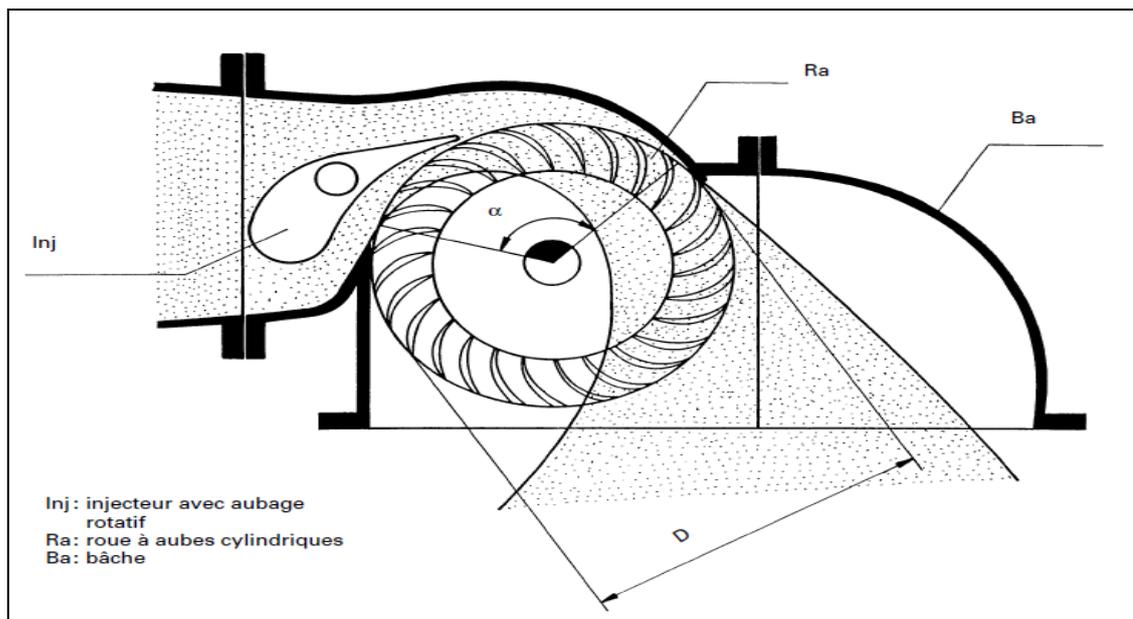


Figure II.15.a : Vue en coupe d'une turbine Cross flow avec ses paramètres principaux [19].

La figure ci-dessous II.15.b montre les composantes principales de la turbine, roue et injecteur est souvent divisée en deux secteur, de largeur $1/3$ et $2/3$ respectivement et qui peuvent être mis en fonction séparément ou ensemble [19].

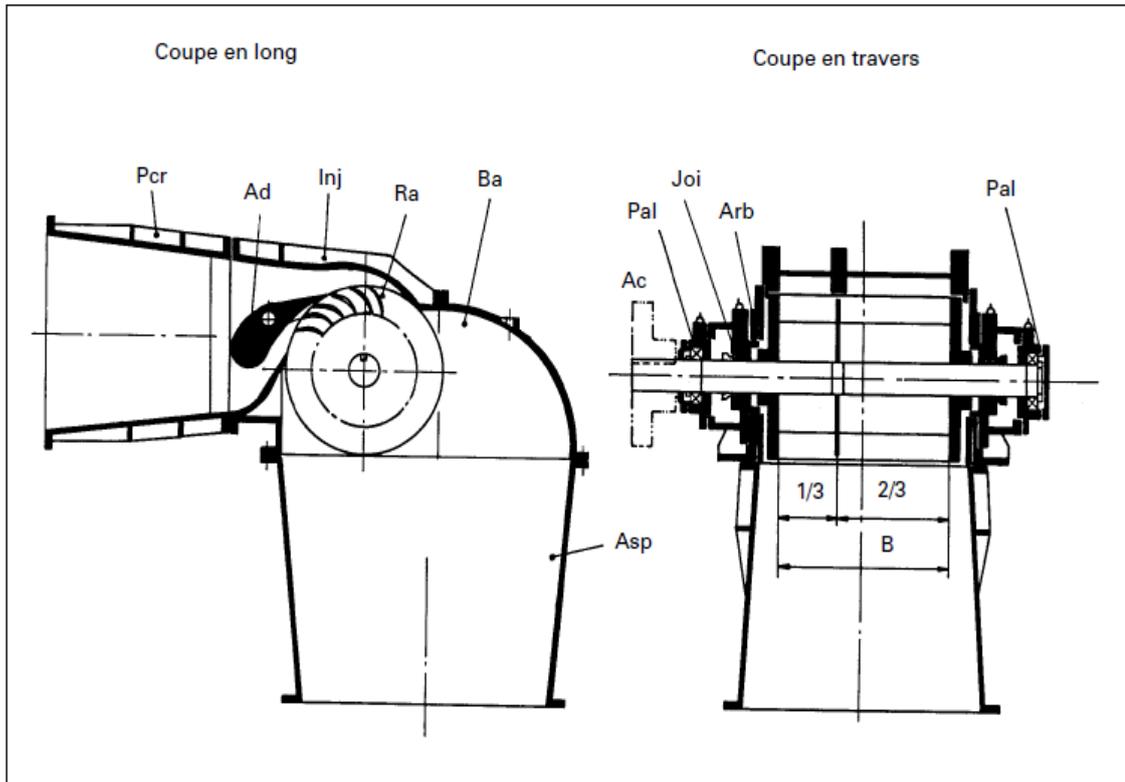


Figure II.15.b : Composants d'une turbine Cross flow [19]

II.6.2. Turbine à réaction :

II.6.2.1 principe de fonctionnement :

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

Deux principes sont à la base de son fonctionnement :

1. la création d'un tourbillon au moyen d'une bêche spirale, d'aubages directeurs ou les deux à la fois.
2. la récupération du mouvement circulaire du tourbillon par les aubages d'une roue en rotation qui dévient les filets d'eau pour leur donner une direction parallèle à l'axe de rotation. Ces aubages se comportent comme une aile d'avion : l'écoulement de l'eau provoque sur le profil de l'aube une force hydrodynamique qui induit un couple sur l'arbre de la turbine [19].

La figure II.16 ci-dessous montre une image schématique d'une turbine à réaction.

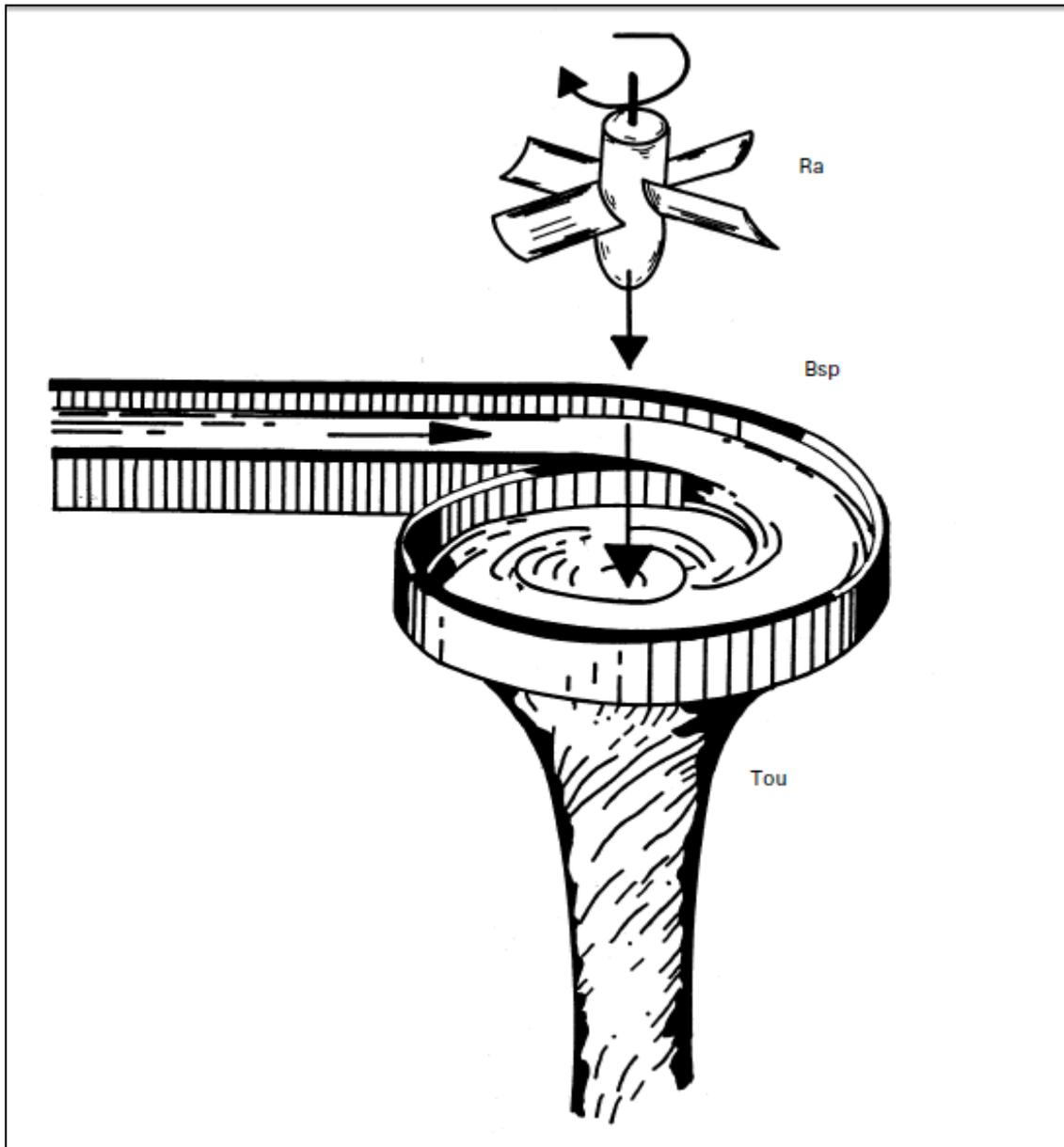


Figure II.16 : Image schématique d'une turbine à réaction [19]

II.6.2.2. Turbine Francis :

La turbine Francis est celle dont le domaine d'utilisation est le plus vaste. Elle peut fonctionner dans des conditions de hauteur de chute très étendues : de quelques dizaines de mètres jusqu'à 800 m. La puissance unitaire peut atteindre des valeurs considérables, et rien n'interdit d'envisager des groupes de 1 000 MW ou même davantage.

Un exemple de turbine Francis à axe horizontal est donné sur la figure II.16

D'une part, des études hydrauliques très poussées ont permis l'augmentation des puissances et débits spécifiques, l'amélioration des rendements et de la tenue à la cavitation des roues et une connaissance approfondie des phénomènes transitoires. D'autre part, la conception mécanique (alliée à une grande maîtrise dans les calculs de structure) et la connaissance du comportement dynamique des groupes – vibrations – (complétée par une qualité de construction très poussée) garantissent une grande fiabilité de fonctionnement. Dans le domaine des puissances plus modestes, on trouve les turbines Francis horizontales simples et doubles, de grande vitesse de rotation. En particulier, les turbines doubles permettent de réaliser des installations très économiques et compétitives (de bon rendement aux charges partielles) [23].

Un exemple de turbine Francis à axe horizontal est donnée sur la figure II.17.

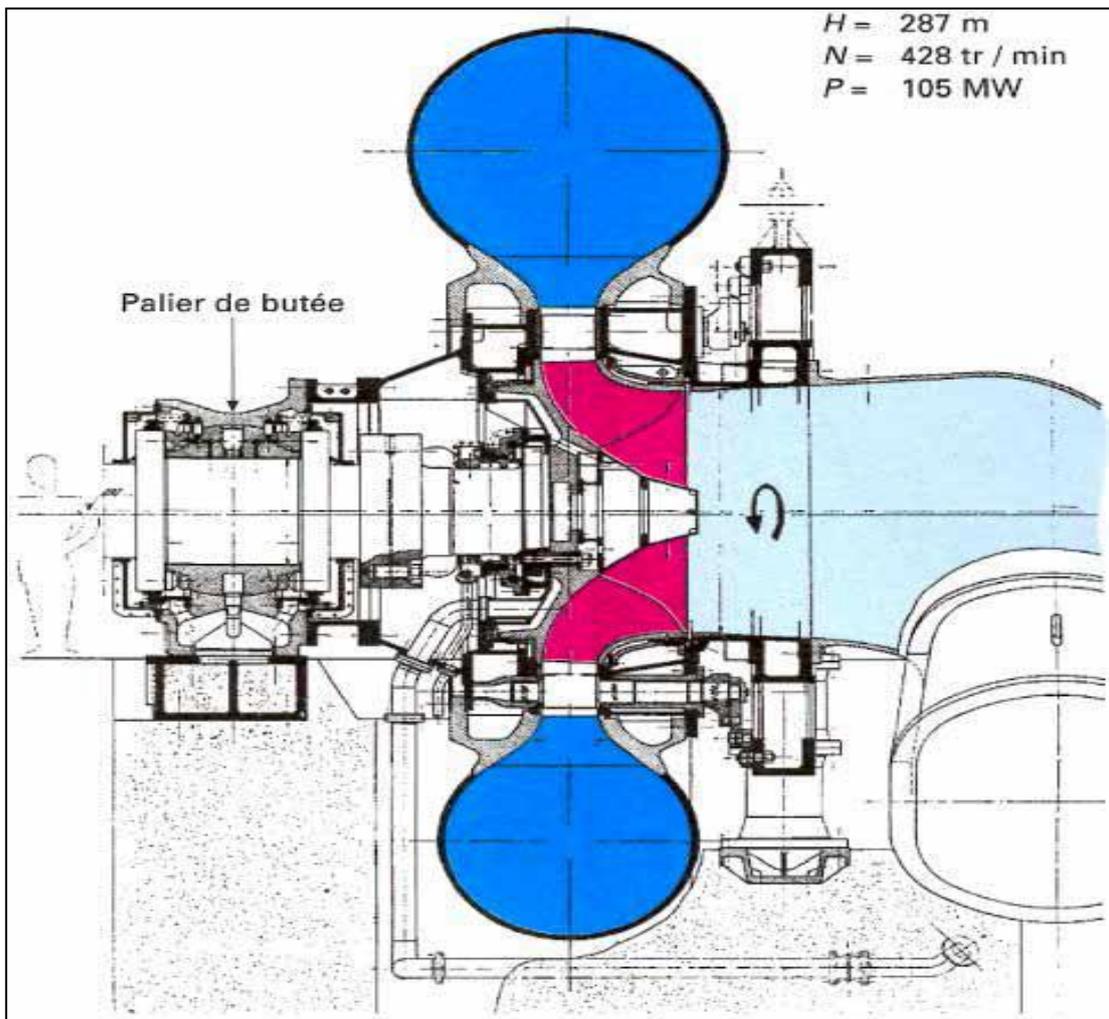


Figure II.17 : Turbine Francis à axe horizontal : centrale de Vianden (Luxembourg)

[23].

II.6.2.2.1. Eléments de construction :

La turbine Francis, dans sa forme moderne, est composée des éléments suivants [25].

1. Une bêche spirale reçoit l'eau sous pression de la conduite forcée et la distribue vers l'intérieur de l'anneau qu'elle forme. Sa tenue mécanique est assurée par un cercle d'entretoises profilées.
2. Le distributeur est placé au milieu de l'anneau de la bêche spirale. Ses vingt à trente aubes orientables, placées dans le prolongement des entretoises, permettent d'ajuster le débit-volume turbine.
3. Une roue à admission radiale centripète, à sortie axiale forme le cœur de la turbine. C'est la seule pièce tournante. Elle compte dix à vingt aubes non orientables, de géométrie tridimensionnelle non développable. Les aubes de la roue reçoivent l'écoulement en rotation à la sortie du distributeur et le devient pour ne lui laisser qu'une rotation minimale. Le moment cinétique ainsi absorbé produit le couple transmis à l'arbre de la turbine.
4. Le diffuseur reçoit l'eau à la sortie de la roue et le conduit à la sortie de la turbine. Comme son nom l'indique, il permet d'abaisser la pression en sortie de roue, sous l'effet du d'ennoyage éventuel de la machine et grâce à une augmentation progressive de sa section de passage. Des pompes sont construites selon le même schéma. L'écoulement dans la roue est alors centrifuge. On trouve enfin des pompes-turbines réversibles, qui assument l'une ou l'autre des fonctions selon leur sens de rotation. [25].

II.6.2.2.2. Pompe inversée :

La pompe inversée est une pompe standard qui est utilisée comme turbine en inversant le sens de l'écoulement de l'eau ainsi que celui de la rotation de l'arbre.

Son fonctionnement peut se comparer à celui d'une turbine Francis dont le distributeur resterait en position fixe.

Il s'agit d'une machine simple et bon marché (prix inférieur à la moitié de celui d'une turbine construite sur mesure).

Son application va des hautes aux basses pressions, mais reste cependant limitée pour les raisons suivantes :

- la pompe inversée ne peut travailler qu'à débit constant.
- en cas de décharge brusque (panne du réseau électrique), elle peut provoquer d'importants coups de bélier dans les conduites, car son débit à l'emballement est inférieur à son débit nominal.

– sa construction mécanique doit être contrôlée en vue du fonctionnement en turbine (paliers, joints, vitesse d'emballement).

– son rendement est inférieur à celui d'une turbine [19].

II.6.2.3. Turbines hélice et Kaplan :

Les turbines hélice et Kaplan sont les plus appropriées pour le turbinage des faibles chutes. Elles se particularisent par leur roue qui est similaire à une hélice de bateau, et dont les pales sont fixes (turbine hélice) ou réglables en marche (turbine Kaplan).

Ces machines sont classées en fonction de :

a) leurs possibilités de réglage, selon les exigences du site :

– turbine hélice à pales et distributeur fixes : pour des débits constants, puissance fixe.

– turbine hélice à pales fixes et distributeur mobile : pour des débits élevés et peu variables.

– turbine Kaplan à pales variables et distributeur fixe : permet de turbiner à bon rendement des débits variant entre 30 et 100%.

– turbine Kaplan à pales et distributeur réglables : adaptée pour des débits très variables, entre 15 et 100 %. Il s'agit de la machine la plus compliquée avec ses deux possibilités de régulation qui doivent être accordées ensemble pour donner les résultats voulus : pour chaque position de pale, le distributeur doit être calé sur l'angle qui donne le meilleur rendement total. En pratique, le signal de la régulation commande l'un des deux organes (par exemple la roue) et le second est asservi au premier selon une loi de corrélation qui donne automatiquement la position optimale, par une came ou une programmation électronique.

b) le type d'écoulement

– la roue d'une turbine Kaplan peut être placée dans un distributeur classique, comme sur une turbine Francis.

L'écoulement est radial dans le distributeur, puis axial à travers la roue.

La turbine est placée soit dans une bêche spirale, soit dans une chambre d'eau, comme la turbine Francis.

– le distributeur peut être conique, ou axial, et l'écoulement subit ainsi un minimum de changement de direction.

Cette disposition permet d'obtenir une construction très compacte : la turbine peut être intégrée dans une conduite, ce qui simplifie le génie civil [19].

La turbine Kaplan présente des avantages remarquables par rapport aux autres types de machines qui pourraient lui être substitués pour certaines applications précises, ainsi

dans la gamme inférieure des chutes, et lorsque l'aménagement participe à la tenue en fréquence du réseau, la turbine Kaplan offre une plus grande stabilité de fonctionnement que le bulbe, du fait de l'inertie importante de ses parties tournantes. Enfin, la turbine Kaplan est mieux adaptée que la turbine Francis aux variations de charge et de chute, au prix – il est vrai – d'un coefficient d'emballage (rapport de la vitesse d'emballage à la vitesse de synchronisme) plus élevé [23].

La structure générale de turbine Kaplan et hélice et donnée sur la figure II.18.

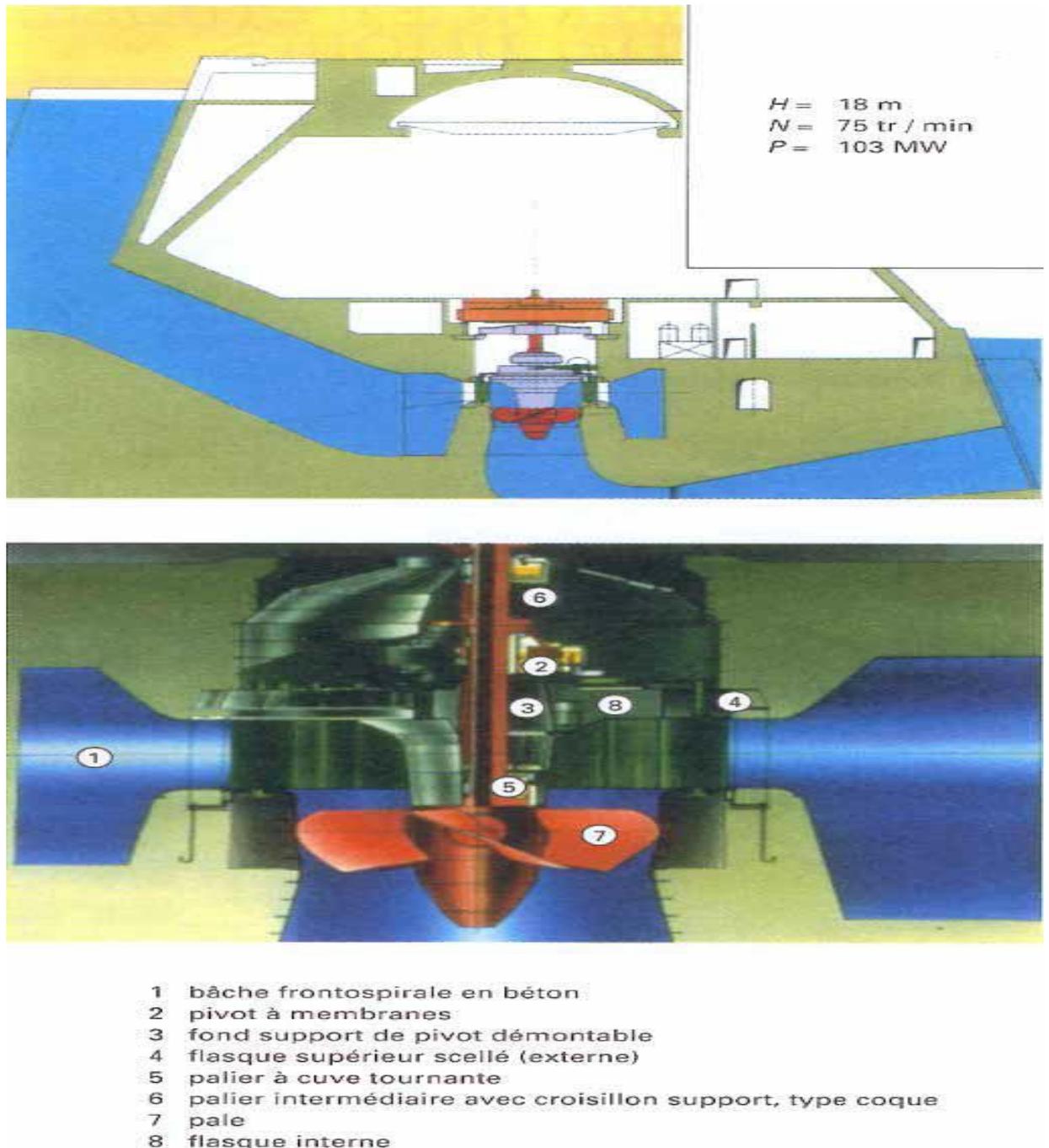


Figure II.18 : Turbine Kaplan [23].

II.7. Centrale hydro-électrique :

Une centrale hydro-électrique est une usine où l'on produit de l'électricité en utilisant l'eau comme force motrice. Le flux crée par l'eau amenée par écoulement libre (canaux) ou par des conduites en charge (conduite forcées) actionne la rotation des turboalternateurs, avant de retourner à la rivière. [26] [27].

La figure ci-dessous II.19 montre les parties les plus importantes d'une centrale à haute pression sur un canal de dérivation.



Figure II.19 : vue d'ensemble d'une centrale hydro-électrique sur canal de dérivation [28]

II.7.1.Principe de fonctionnement :

La force motrice de l'eau fait tourner une grande roue appelée une turbine. La turbine convertit l'énergie de l'eau en chute en énergie mécanique [26] [29].

La turbine en mouvement de rotation entraîne un alternateur qui produit une tension en transformant l'énergie mécanique en énergie électrique. Un transformateur élève alors cette tension produite par l'alternateur pour qu'elle puisse être facilement transportée dans les lignes à haute et très haute tension. A la sortie de la turbine, l'eau qui a perdu son énergie est rejetée dans la rivière via un canal de fuite [26] [30].

Pour les petites centrales hydrauliques, les pertes de charges représentent 10 à 15 % de la hauteur d'eau, ou chute brute la figure II.20 met en évidence cette proportion.

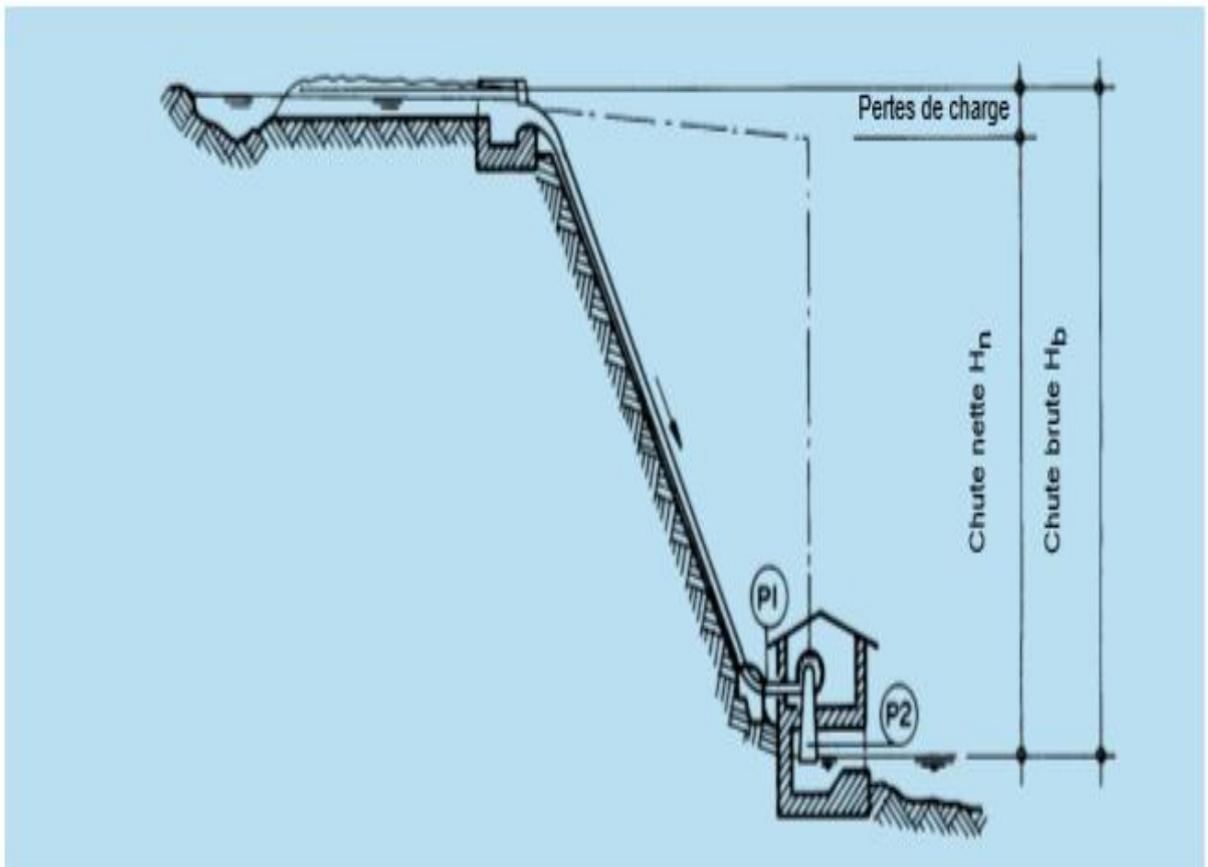


Figure II.20 : Hauteur de chute brute et nette d'une petite centrale à conduite forcée [28].

II.7.2. Structure d'une centrale de production de l'électricité :

La centrale hydro-électricité est composée d'une turbine, d'un alternateur, d'un système de régulation et d'un transformateur [26].

II.7.2.1. Turbine :

Nous avons déjà défini les turbines avec leurs différents types (II.2 jusqu'à II.6)

II.7.2.2. Générateur :

Le générateur se divise en deux parties, le stator (la partie fixe) et le rotor (la partie mobile). La paroi externe du rotor est composée d'électro-aimants, tandis que la paroi interne du stator est formée d'un bobinage de barres de cuivre. Lorsque le rotor tourne dans le stator les électrons vibrent dans les barres de cuivre qui se formera un champ magnétique dans le générateur. Ce champ magnétique provoquera un déplacement d'électron qui va créer le courant électrique [31].

Différents types de générateurs :

Il existe deux catégories de générateur :

- Les générateurs synchrones, ou alternateur : l'excitation est produite par une petite génératrice annexe qui produit un courant créant un champ magnétique dans le rotor.
- Les génératrices asynchrones, ou génératrices : la fréquence et le voltage du courant sont imposés par le réseau. Il y'a pas d'excitation de rotor [32].

II.7.2.3. multiplicateurs de vitesse et systèmes de régulation :

Pour faire fonctionner une turbine correctement, un système de régulation doit être mis en place. Ce dernier doit permettre d'adapter le régime de vitesse de la turbine en fonction de la consommation électrique et du débit à l'entrée de la prise d'eau. Cette régulation doit permettre de maintenir la vitesse de rotation la plus constante possible afin que le réseau reste calé sur sa fréquence propre [33].

Types de régulation :

Il existe deux types de régulation :

- La régulation << vitesse débit >>

Elle consiste à adapter le débit de l'eau afin de réguler la vitesse de rotation. Le contrôle de débit se fait par l'intermédiaire de pointeaux amovibles dans les injections de la turbine.

- La régulation << charge fréquence >>

Elle agit afin de garder la charge électrique du réseau constante, sans système de contrôle du débit. La régulation s'effectue par dissipation du surplus d'énergie dans des charges résistives. Toute l'énergie non consommée est redirigée dans une

batterie de résistance. Donc la centrale tourne toujours au maximum de sa capacité, produisant sa puissance nominale [33].

II.7.2.4. Transformateur :

Pour être utilisable, le courant produit à la sortie du générateur doit être évacué puis transporter jusqu'au point de livraison

La première étape de ce processus s'effectue grâce à un transformateur. Il s'agit d'un équipement permettant selon les cas d'élever ou d'abaisser la tension du courant alternatif pour faciliter sa transportation dans les lignes à haute tension. La deuxième étape s'effectue par le raccordement au réseau [34].

Chapitre III

Opportunité de la récupération d'énergie

Chapitre III

Opportunité de la récupération d'énergie

Ce projet est fonctionnelle jusqu'au jour mais il a subi plusieurs modifications suite à la nouvelle affectation des ressources en eau de la wilaya de Tlemcen (avec l'introduction de dessalement des eaux de mers en particulier) et suite au développement démographique des villages au voisinage de la conduite de transfère nécessitant des quantités d'eau potable plus importante pour ses villages. Ainsi, le transfert en question constitua pour les services concernés une alternatif pour les alimenter en eau potable. Alors la conduite a subi plusieurs nouveaux piquages sur tous le long de la conduite et entre les brises charge.

III. Différents piquages et leur destination :

Plusieurs piquages ont été réalisés sur le transfère afin d'alimenter en eau les localités riveraines, les localités destinataires sont présenter sur le tableau (III.1).

Tableau III.1 : piquages et leur destination (ADE de production maghnia 2017)

Tronçon	Village alimenté
Bou halou et BC1	Sebra, mhara, hennaya, oussar, bouhlou, base de vie, ouled keddour.
BC1 et BC2	Merazga-hennaya, centre M'lilia c/hennaya, remchi, zenata, oudjelida, beni mester, o/bensaid, el-bordj.
BC2 et BC3	Ben sekrane, bc3-o/mimoune, ain houtz, amieur, o/alla, laribat, ghoulimas, castors.
BC3 et BC4	BC3-Unité S.B.A (Sidi bel Abbes).
BC4 et BC5	Ain témouchent, hassasna APC.
BC5 et BC6	HBH N°1, HBH N°2, el-malah, hassi-el-ghella, complex SONATHBH, unité ain-

	arbaa N°2.
BC6 et BC7	Amria [centre], amria [douar], ain-baida, unité ENIPEC amria, boutlelis [centre], ADD andalous B/B, douar BC7[1], douar BC7 [2], benbed messereghin.
BC7 et BC8	Panabois messreghin, cité messreghin, hai kassab, hai rabah.

III.1. Calcul hydraulique :

L'idée est de produire de l'énergie électrique en récupérant l'énergie hydraulique dissipé par les brises charge qui sont installés sur la conduite de transfère qui le divise en huit tronçon. Pour cette tache on doit installer des turbines hydrauliques, et pour faire le choix de type de turbine il faut avoir les données de pression et le débit qui y transite. Pour pouvoir dimensionner nos petites unités hydroélectriques il est impératif de déterminer les paramètres hydrauliques (pression et débit), mais ces derniers ont subi plusieurs modifications depuis la réalisation du transfert (paramètres hydrauliques d'exploitation actuel sont différents des paramètres initiaux de dimensionnement), ainsi, Pour mener à bien, le calcul de dimensionnement ; nous nous sommes basé sur les données des débits enregistrées par le service ADE de production Maghnia des six dernières années de 2012 aux 2017. Le dimensionnement sera mener pour les débits maximaux enregistrés et vérifier la production pour les débits les plus faibles.

III.1.1. Débits, vitesses et nombre de Reynolds :

Pour calculer le débit de dimensionnement qui circule dans la conduite, nous supposons que la conduite assure un débit de route car les différents tronçons entre les brises charge contiennent plusieurs piquages dont les emplacements sont indéfinis malgré nous efforts d'investigations auprès des services concernés (ADE production Maghnia et DRE Tlemcen).

Ainsi, la conduite sera considérée comme assurant un service en route et ces débits de dimensionnements seront évalués par la relation qui suit :

$$Q = Q_s + 0,55 \cdot Q_r \dots\dots\dots (III.1)$$

Les détails relatifs à la conduite assurant un service en route sont développés par DUPONT dans son ouvrage cité en [35].

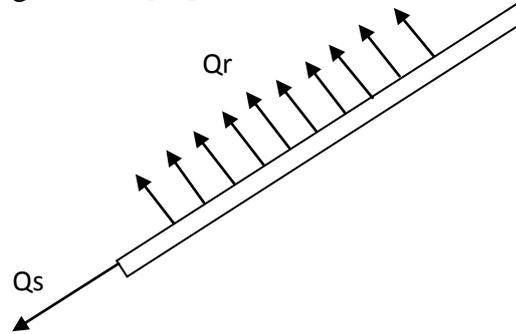


Figure III.1 : schéma fonctionnelle d'une conduite assurant un débit en route

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : le débit dans la conduite en m³/s

Débit dans la conduite (m ³ /s)						
Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tronçon						
Bou halou-BC01	1,231	0,908	1,084	1,028	1,058	0,641
BC01-BC02	1,011	0,783	0,941	0,869	0,875	0,482
BC02-BC03	0,860	0,673	0,816	0,724	0,722	0,333
BC03-BC04	0,638	0,511	0,610	0,556	0,539	0,251
BC04-BC05	0,365	0,309	0,361	0,380	0,324	0,187
BC05-BC06	0,289	0,226	0,264	0,288	0,237	0,160
BC06-BC07	0,241	0,183	0,219	0,239	0,195	0,151
BC07-BC08	0,202	0,156	0,188	0,199	0,160	0,122

Après la détermination des débits de chaque tronçon, il faut déterminer les vitesses d'écoulements, les vitesses ainsi obtenu sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : la vitesse dans la conduite en m/s

Vitesse dans la conduite (m/s)						
Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tronçon						

Bou halou-BC01	1,296	0,956	1,141	1,082	1,114	0,675
BC01-BC02	1,064	0,825	0,991	0,915	0,921	0,508
BC02-BC03	0,906	0,708	0,859	0,762	0,760	0,351
BC03-BC04	0,671	0,538	0,642	0,585	0,567	0,264
BC04-BC05	0,384	0,325	0,380	0,400	0,341	0,197
BC05-BC06	0,304	0,238	0,278	0,303	0,250	0,168
BC06-BC07	0,253	0,193	0,231	0,252	0,206	0,159
BC07-BC08	0,218	0,164	0,198	0,210	0,168	0,128

Nous avons calculé les vitesses qui circulent dans la conduite pour déterminer un des nombres sans dimension les plus importants et sans doute le plus célèbre est le nombre de Reynolds, caractérisant l'état cohérent (laminaire) ou chaotique (turbulent) de l'écoulement [31] [36].

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu} \dots \dots \dots (III.2)$$

Avec :

v : vitesse de l'eau.

D : diamètre de la conduite.

μ : viscosité de l'eau.

Le tableau III.4 présente les différentes valeurs du nombre Reynolds dans chaque tronçon et de chaque année de 2012 au 2017.

Tableau III.4 : Nombre de Reynolds aux différents tronçons

Nombre de Reynolds						
Année \ Tronçon	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bou halou-BC01	1411650,7	1041639	1242984,1	1178544,6	1213344,3	735207,3
BC01-BC02	1159166,8	898714	1079362,7	997093,3	1003113	553297,3
BC02-BC03	986372,5	771440,2	935978,9	829802,7	828197,4	382165,6
BC03-BC04	731366,13	585975,7	699604,9	637687,9	618138,2	287684,8
BC04-BC05	418226,5	353958,9	414041,4	436056,3	371960,7	214760,3

BC05-BC06	331084	259076,8	303049,4	330510,7	272377,5	183171,1
BC06-BC07	276161,3	209887,2	251623,8	274441,4	224105,2	173826,3
BC07-BC08	231787,5	179215,3	215390,9	228634,3	183228,5	139943,9

III.1.2. Calcul des pressions :

Le transfert ne dispose pas de manomètres pour la mesure des pressions, ce qui nous oblige de refaire les calculs des pertes de charge pour déterminer les pressions dans les différents point de l'adduction et aussi les pressions à l'entrée de chaque brise charge. Et de tracer la ligne piézométrique sur le profil en long de la conduite.

La formule utilisée pour le calcul des pertes de charge comporte le fameux coefficient de perte de charge linière (λ). Sa valeur elle est déterminée par un calcul itératif par la formule de Cole Brooke-white (in [37]).

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{ks}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \dots \dots \dots (III.3)$$

Les calculs sont fait de Brise charge BC1 jusqu'au Brise charge BC4, les valeurs de perte de charge linière (λ), la vitesse et le débit entre les brises charge sont dans le tableau suivant :

Tableau III.5 : calcul entre les brises charge (Débit-Vitesse-Nombre de Reynolds).

	Distance	Vitesse	Débit	λ
Unité	m	m/s	m³/s	/
Tronçon				
Bou halou-BC01	17900,00	1,29	1,114	0,0132
BC01-BC02	18100,00	1,064	0,885	0,0148
BC02-BC03	19899,50	0,905	0,83	0,015

BC03-BC04	16990,00	0,671	0,403	0,0155

A partir des valeurs obtenue de perte de charge (λ) entre chaque brise charge nous pouvons tracer à cette étape la ligne piézométrique sur le profil en long de la conduite, après déterminer les pertes de charge qui existe sur ce transfert et faire sortir les pressions d'entrée des brises charges.

Remarque :

Nous avons travaillé juste sur les quatre brises charge de BC1 jusqu'au BC4, car il y a déjà des stations hydro-électriques au pied du barrage de BENI BAHDEL et au brise charge BC5, ces derniers malheureusement sont à l'arrêt suite au manque d'entretien et la diminution des débits causé par les différents piquages qui sert à alimenter plusieurs villages qui se trouve aux tours de ce transfert. Apres le BC5 La diminution des débits transités étant très importante ce qui ne représente pas d'intérêt pour la récupération d'énergie pour ces trois derniers brises charges

La figure III.2 ci-dessous représente la ligne piézométrique jusqu'au brise charge BC5 obtenue.

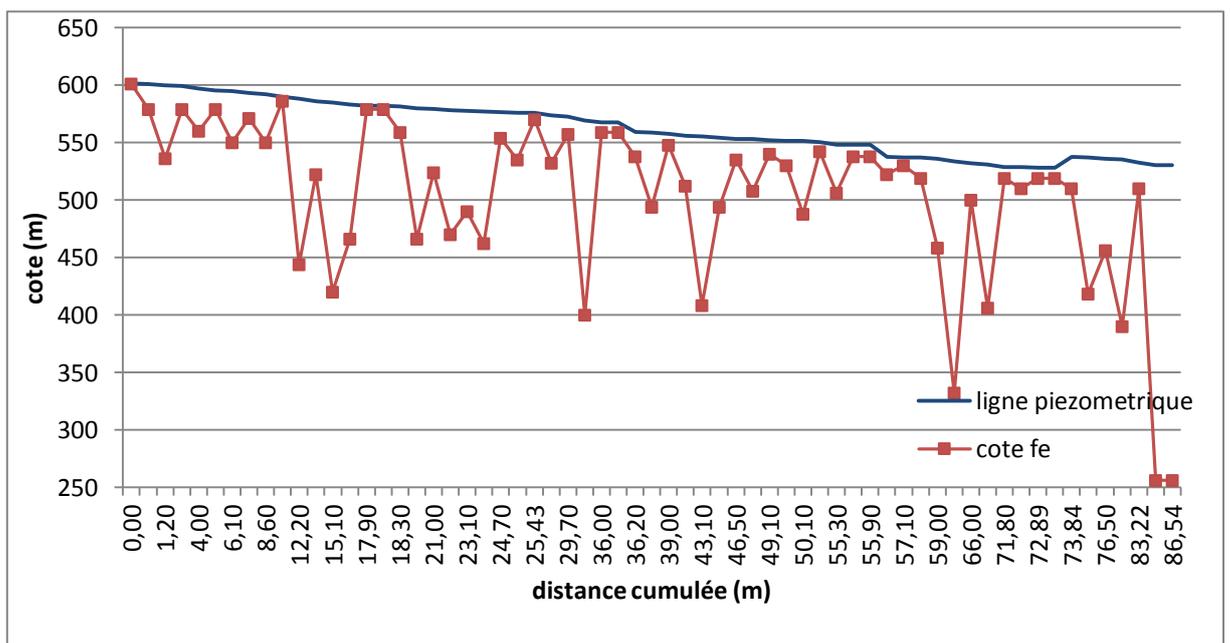


Figure III.2 : la ligne piézométrique jusqu'au BC 5.

Tableau III.6 : Pressions aux les brises charge

Brise Charge	Pression en (mce)
BC1	4,131
BC2	8,348
BC3	9,972
BC4	9,128

D'après les tableaux (III.2) et (III.6), nous remarquons la faiblesse des valeurs des hauteurs de chute dans tous les brises charges considérés qui varie entre 4 à 9 mètre et les débits qui circulent varient entre 318 et 1 114 l/s.

Ces deux paramètres (débits et hauteur de chute) sont à considérés pour définir le choix du type de turbine susceptible à être installé en tête de chaque brise charge BC1, BC2, BC3, BC4.

III.2. Choix du type de turbine :

Il y'a plusieurs type de turbine qui se trouve dans le marché mais les domaines d'application de ces turbines sont différent, il y'a des turbines qui fonctionne à fort charge veut dire de très grand hauteur de chut et d'autre à moyenne charge et à faible charge.

Dans notre cas nous avons des contraintes qui orient le choix finale de la turbine.

La turbine doit répondre aux impératives techniques de notre cas qui sont :

- Elle doits fonctionné à base pressions.
- Elle doits travaillé pour des faibles débits.
- Elle doit être facile à l'entretien.

Le dimensionnement et le choix de la turbine est réalisé par une approche statistique selon le diagramme présenté dans la figure (III.3) suivant :

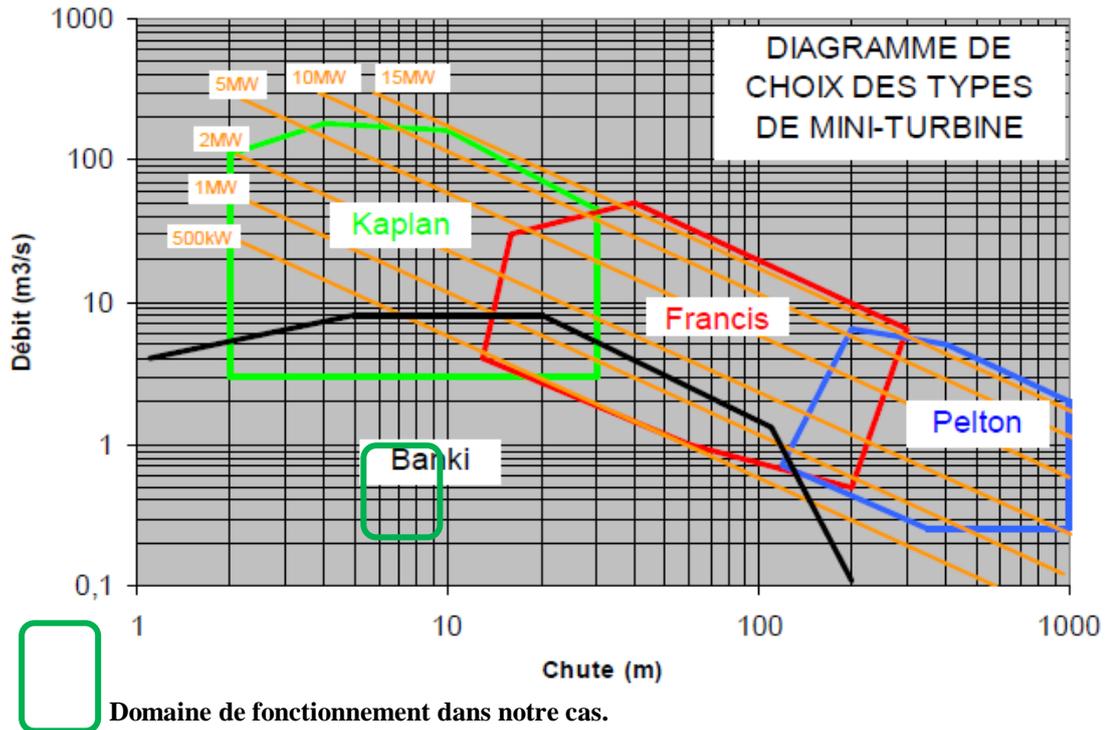


Figure III.3 : diagramme de choix des types de mini-turbine [38].

Selon le diagramme, puisque la hauteur de chute elle est entre 3 et 9 mètres et le débit entre 0,3 et 1 mètre cube par second le choix de la turbine est fixé sur la turbine BANKI qui appelé aussi turbine cross-flow.

III.2.1. Avantage de la turbine Banki (cross-flow) :

Cette turbine est un compromis entre la turbine Pelton (turbine à action) et la turbine Francis pour sa possibilité de fonctionner en charge à l'aval.

- Adaptée aux chutes moyennes (150 - 1 m).
- Puissance jusqu'à 2000 kW seulement compte-tenu de la portée importantes des aubages entre flasques support.
- Très bonne adaptation aux variations de débit par le réglage de la vanne directrice et par la possibilité de diviser le conduit hydraulique en plusieurs compartiments.
- Bonne adaptation aux variations de chute de par la simplicité du profil hydraulique.
- Conception mécanique très simple (d'où une maintenance simplifiée).
- Très économique à l'achat.
- Rendement mécanique maximum limité (82%), mais bon rendement moyen sur sa plage de fonctionnement.

- Souvent associé à un multiplicateur de vitesse.
- Il existe une sollicitation en fatigue des aubages.
- Le double passage de l'eau à travers la roue permet de limiter la sensibilité aux corps étrangers [38].

La figure ci-dessous III.4 montre les différentes pièces de la turbine cross flow.

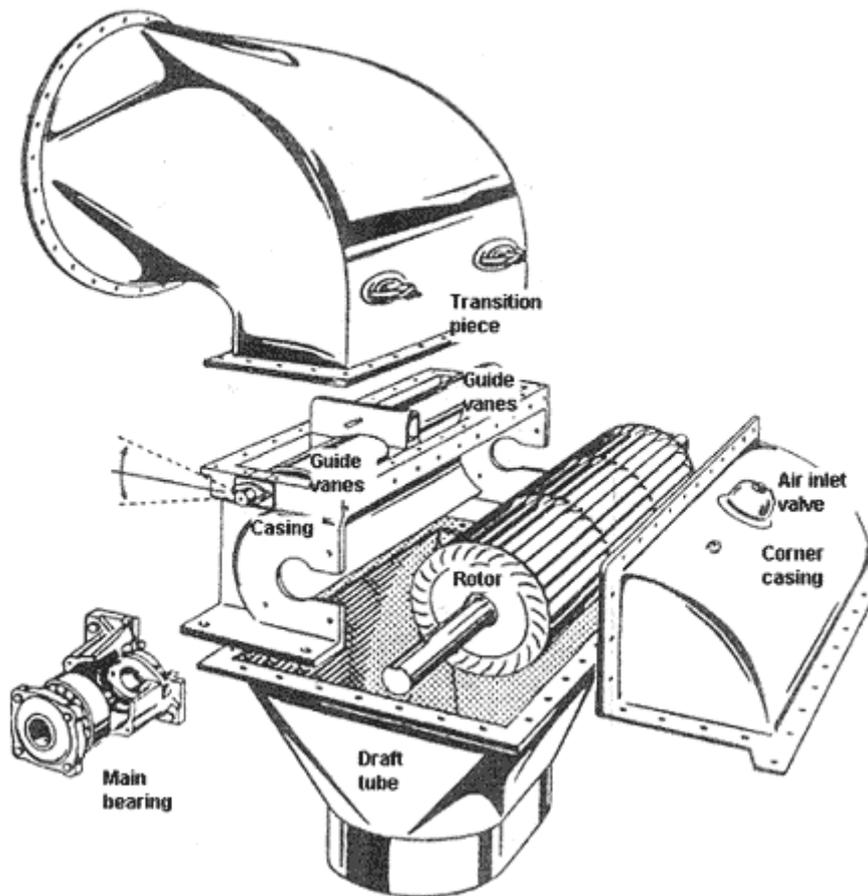


Figure III.4: turbine cross flow [39].

III.2.1.1. Description des différents modèles de la turbine cross flow de T3 à T12:

Modèle T3 : est une conception compacte, et la première machine avec la vanne papillon pour la régulation du débit. Le concept de palier est sous désigné et ne convient pas pour des puissances supérieures à 20 KW.

Modèle T4 : à une aile circulaire pour la régulation du débit. C'était la première turbine avec le contrôle automatique de gouverneur utilisé dans un projet d'électrification de village.

Modèle T5 : est fondamentalement le concept d'un modèle T3 élargi. Cependant, la taille de la machine n'était pas suffisante pour les installations de production au Népal. Ce design était absolu.

Modèle T6 : est adapté pour le contrôle du régulateur, ayant une vanne papillon comme dispositif de régulation du débit. La machine est beaucoup plus rigide que les conceptions précédentes, donc il a un niveau de vibration et de bruit bas pendant le fonctionnement. C'est une bonne conception pour la décharge spécifique élevée.

Modèle T7 : est le premier modèle avec des pales de turbine entièrement usinées afin d'augmenter l'efficacité. Mais cette technologie de pointe a conduit à une défaillance de la rampe en raison de problèmes de fatigue. Maintenant le T7 est un modèle obsolète.

Modèle T8 : remplacé le design T7. C'est une machine entièrement testée avec des caractéristiques connues. Ceci a permis de définir des plages d'application et de standardiser le design.

Modèle T9-11 : sont des modèles de test pour le T12 suivant Avec tous les tests de performance où exécuté à l'université de Hong Kong. Le diagramme de pente d'efficacité dans ce livre est le résultat de ces tests. La conception adhère au concept de la série T8 avec un profil hydraulique modifié et un contrôle de qualité sécurisé pour garantir l'échangeable des pièces de rechange.

Modèle T12 : est la collecte des expériences passées, mettant l'accent sur la longévité, la conception robuste. Il nous propose un nouveau concept pour ventiler le jet (approche par jet libre) et est spécialement adapté au contrôle du débit [40].

Hnet [m] : hauteur disponible pour la turbine (la hauteur géodésique moins le total de toutes les pertes de charge), exprimée en hauteur de colonne d'eau.

Q débits [l/s] : Débit d'eau circulant dans la turbine.

q_{\max} Débit unitaire = 0,92 pour la turbine à flux transversal T12 (lorsque la vanne d'entrée est complètement ouverte).

b₀ Largeur d'entrée [mm] : La largeur d'entrée b_0 représente la largeur à l'entrée du carter de la turbine.

P Puissance [kW] : Puissance de sortie disponible sur l'arbre du rotor.

D Diamètre du rotor [m] = 0,3 m pour la turbine à flux transversal T12.

h Efficacité de la turbine : La valeur de conception peut être estimée à 0,7 pour la turbine à flux transversal T12.

n Vitesse rotationnelle [min^{-1}] : Nombre de tours par minute de l'arbre de turbine (tr / min).

nII Vitesse unitaire = 40 pour la turbine à flux transversal T12.

La figures ci-dessous III.5 présentes les disques intermédiaire.

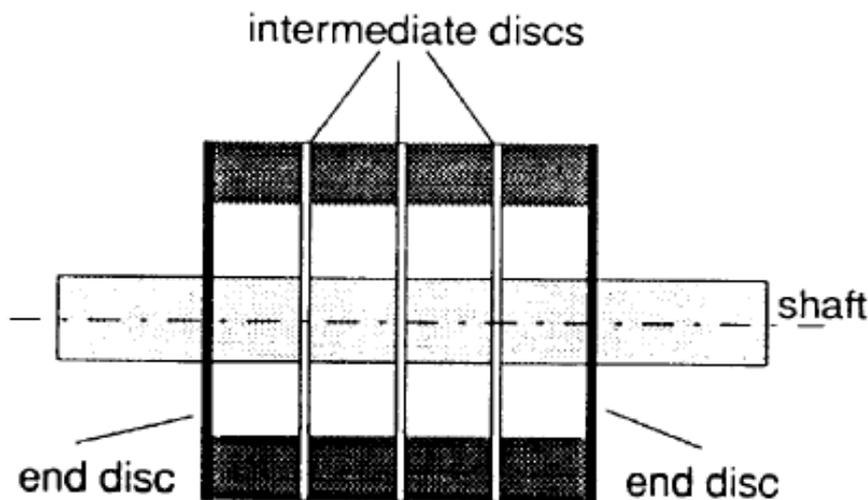


Figure III.5 : Disque Intermédiaire [40]

III.2.1.2. Sélection de la taille de la turbine T12 :

La conception de T12 peut facilement être adaptée à une large gamme de tête nette et de débit, simplement par choisir la largeur d'entrée b et le nombre requis de disques intermédiaires. Le rotor requis le diamètre de l'arbre doit également être vérifié. Par conséquent, les trois paramètres suivants :

- largeur d'entrée b_0 .
- nombre de disque intermédiaire.
- diamètre de l'arbre du rotor doit être déterminé selon les étapes expliquées ci-après [40].

Etape 1 :

Prendre les valeurs de conception pour le débit $[Q]$ et la hauteur nette $[H_{\text{net}}]$ du rapport d'ingénierie pour l'installation de la turbine. Les débits prendre sont de l'année 2012.

Tableau III.7 : représente les valeurs de H_{net} et Q des 4 brise charge [40].

Brise Charge	Hnet (m)	débits (m ³ /s)
BC1	4,131	1,114
BC2	8,348	0,885
BC3	9,972	0,83
BC4	9,128	0,403

Etape 2 :

Trouver le tableau correct pour les valeurs Hnet et Q (établies à l'étape 1) pour déterminer le nombre requis de disques intermédiaires.

Sur les pages suivantes, vous trouverez les différents diagrammes couvrant chacun une sous-application spécifique de la turbine à flux transversal T12. Pour déterminer combien de disques intermédiaires sont requis pour notre turbine T12, les valeurs Hnet et Q de l'étape (1) les faire rentrer dans les figure III.6 au III.14 Si le point d'intersection des lignes de valeurs se trouve dans la plage du champ blanc, non pointillé ou Sur sa ligne de démarcation, le numéro de la carte est identique au nombre de disques requis. On Commence par la figure III.6 jusqu'à ce que nous ayant un tableau dans lequel les conditions ci-dessus sont remplies [40].

Si le point d'intersection des valeurs H et tombe dans la plage du champ blanc, non pointillé 0 ou sur la limite du champ, aucun disque intermédiaire n'est nécessaire sur le rotor.

- a) Pas de disque intermédiaire requis

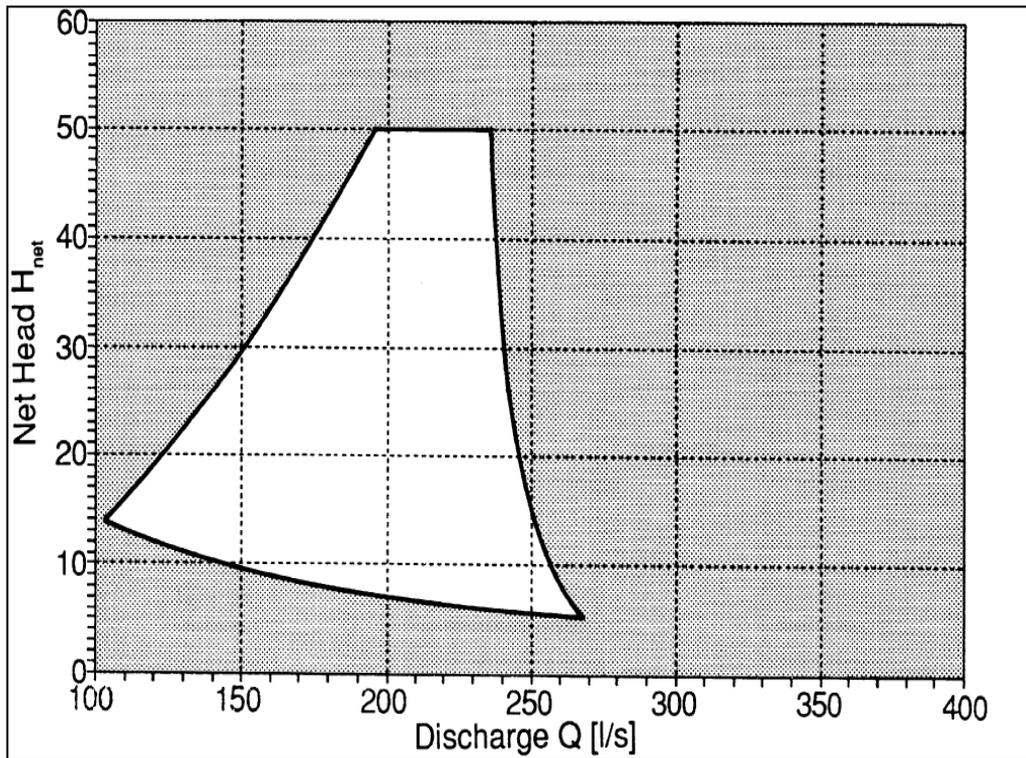


Figure III.6 : Domaine d'application sans disque intermédiaire sur le rotor [40].

b) Un disque intermédiaire

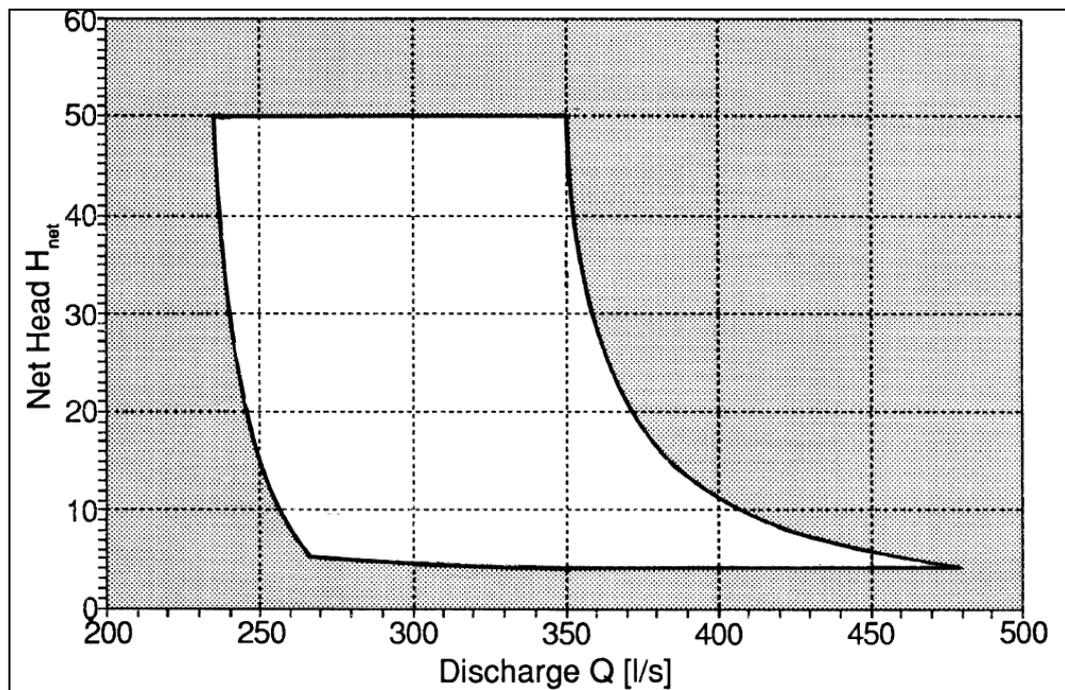


Figure III.7 : Domaine d'application pour un disque intermédiaire sur le rotor [40].

Si le point d'intersection des valeurs H_{net} et Q se situe dans la plage du champ blanc, non pointillé ou sur la limite du champ, 1 disque intermédiaire est nécessaire sur le rotor [40].

c) Deux disques intermédiaires

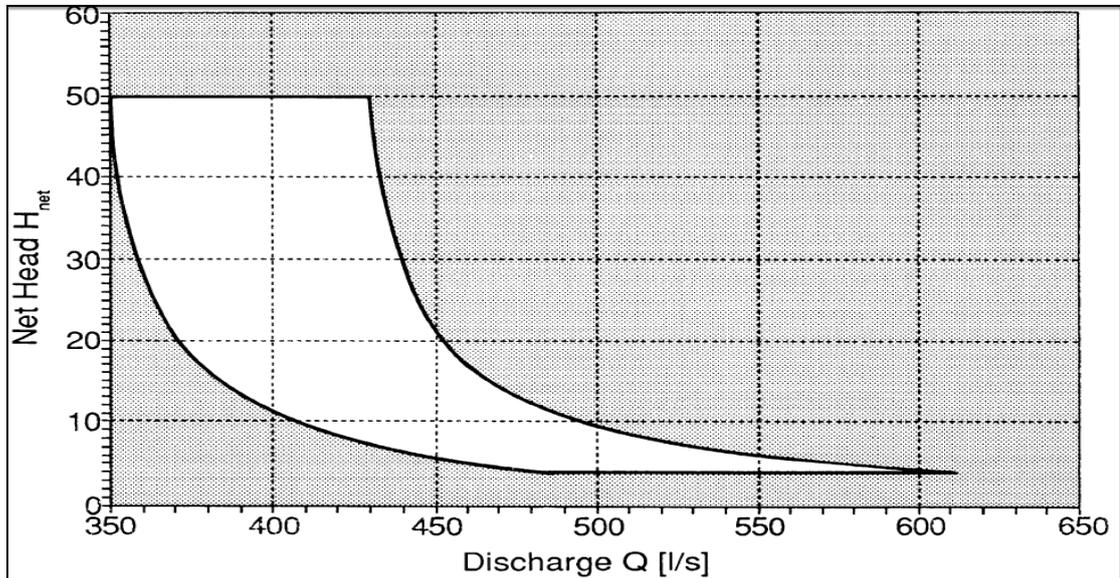


Figure III.8 : Domaine d'application pour deux disques intermédiaires sur le rotor [40].

Si le point d'intersection des valeurs H_{net} et Q se situe dans la plage du champ blanc, non pointillé ou sur la limite du champ, 2 disques intermédiaires sont nécessaires sur le rotor.

d) Trois disques intermédiaires

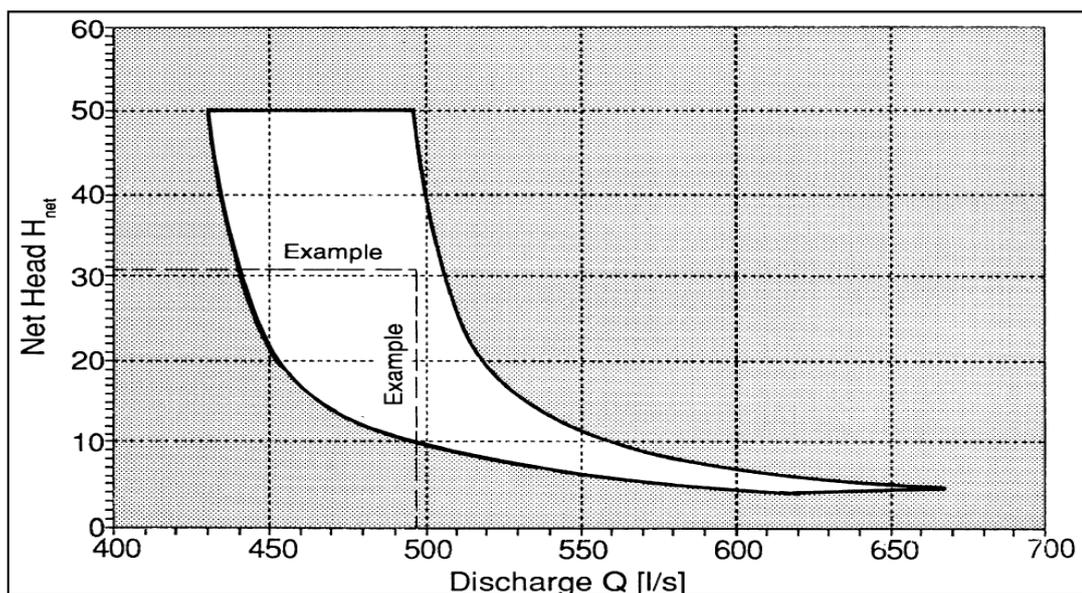


Figure III.9 : Domaine d'application pour trois disques intermédiaires sur le rotor [40].

e) Quatre disques intermédiaires

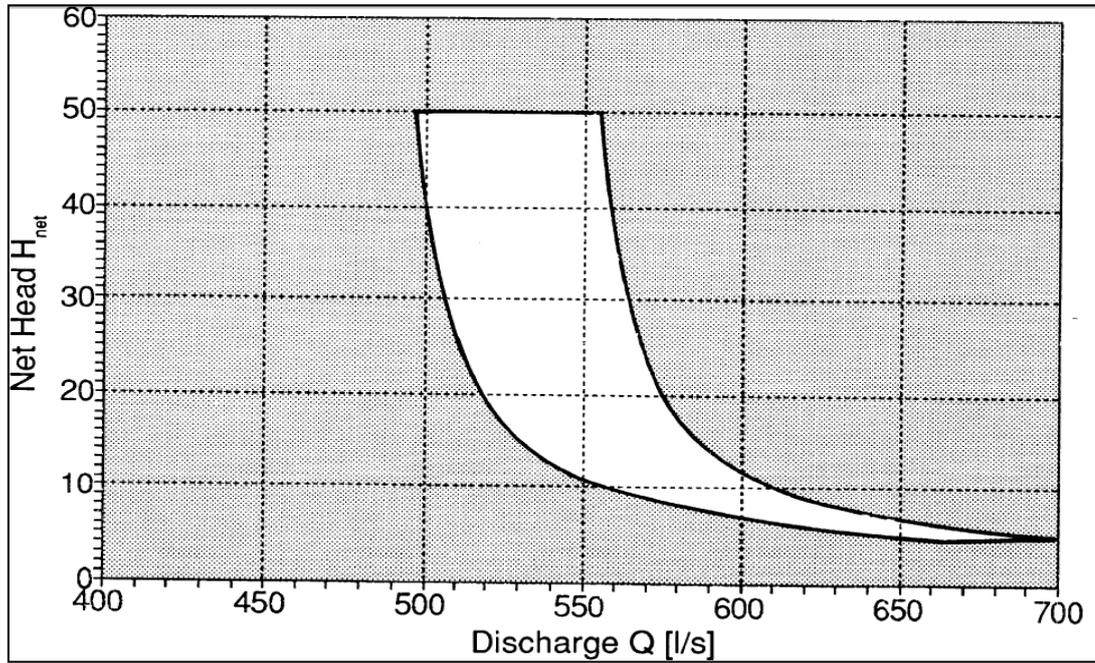


Figure III.10 : Domaine d'application pour quatre disques intermédiaires sur le rotor [40].

Si le point d'intersection des valeurs H_{net} et Q se situe dans la plage du champ blanc, non pointillé ou sur la limite du champ, 4 disques intermédiaires sont nécessaires sur le rotor [40].

f) Cinq disques intermédiaires

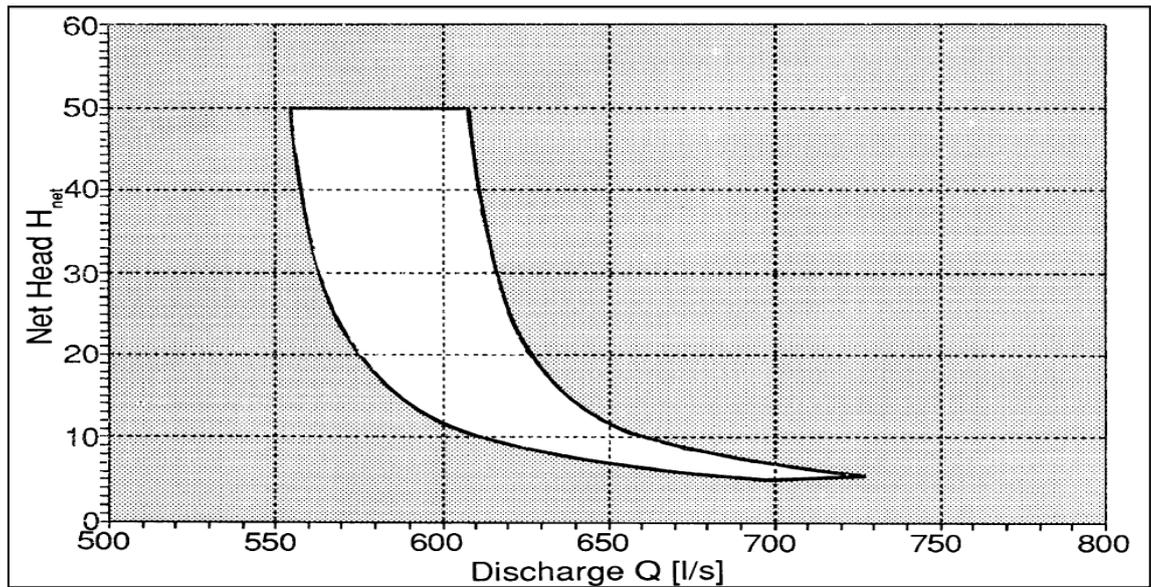


Figure III.11 : Domaine d'application pour Cinque disques intermédiaires sur le rotor [40].

Si le point d'intersection des valeurs H_{net} et Q se situe dans la plage du champ blanc, non pointillé ou sur la limite du champ, 5 disques intermédiaires sont nécessaires sur le rotor [40].

g) Six disques intermédiaires

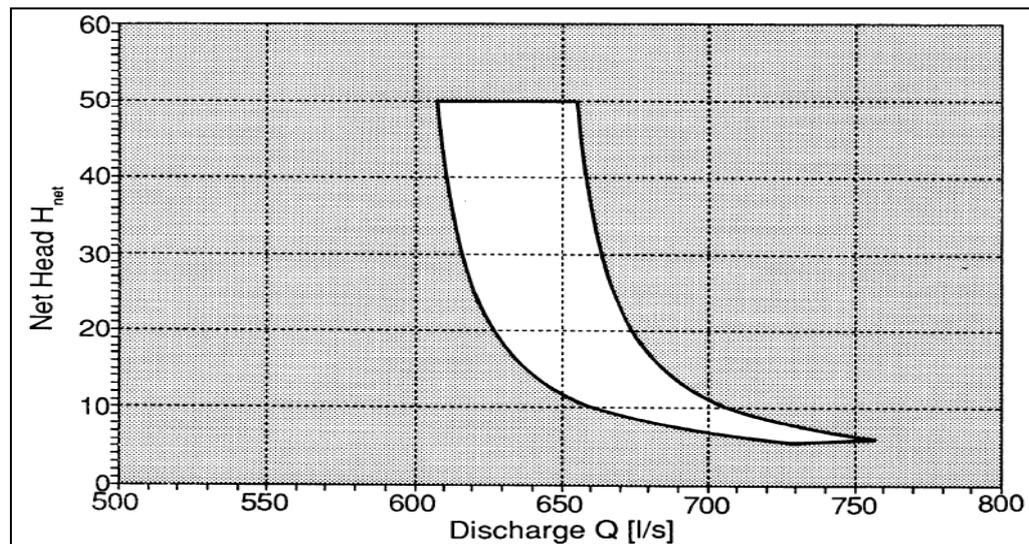


Figure III.12 : Domaine d'application pour six disques intermédiaires sur le rotor [40].

Si le point d'intersection des valeurs H_{net} et Q se trouve à l'intérieur du champ blanc, non pointillé ou sur la limite du champ, 6 disques intermédiaires sont nécessaires sur le rotor [40].

h) sept disques intermédiaires

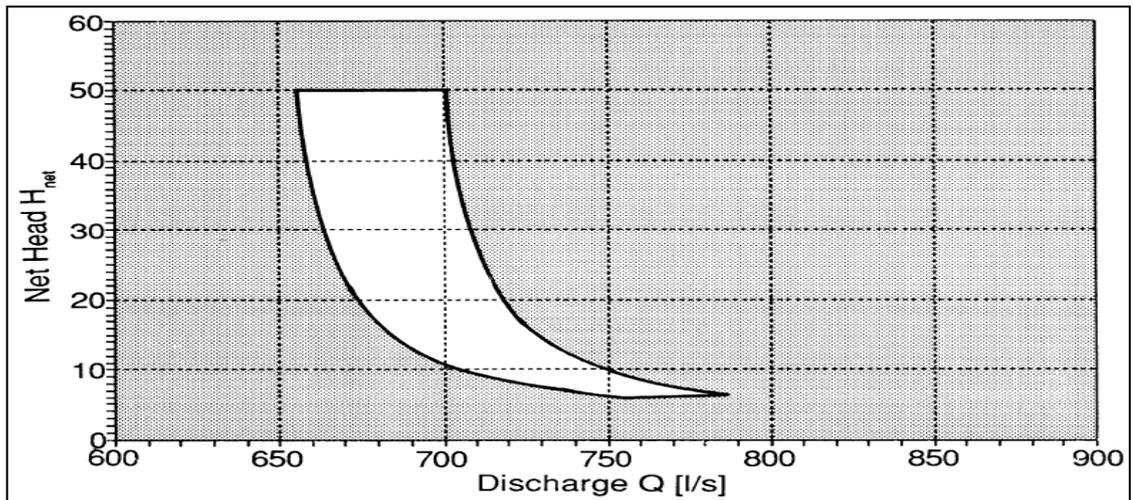


Figure III.13 : Domaine d'application pour sept disques intermédiaires sur le rotor [40].

Si le point d'intersection des valeurs H_{net} et Q se situe dans la plage du champ blanc, non pointillé ou sur la limite du champ, 7 disques intermédiaires sont nécessaires sur le rotor [40].

i) huit disques intermédiaires

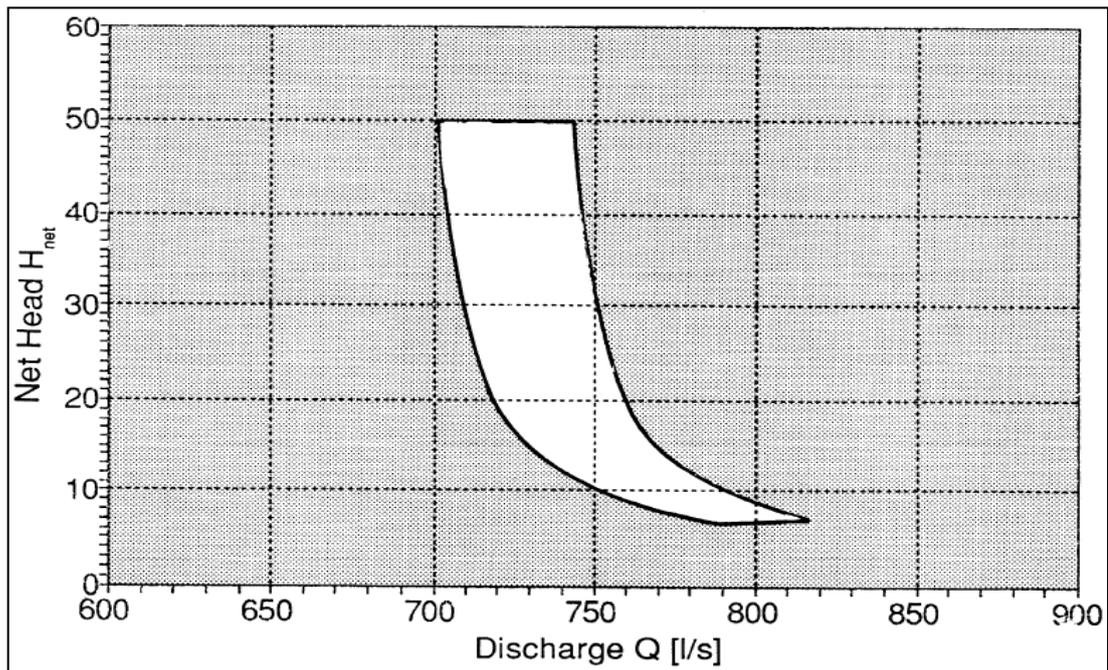


Figure III.14 : Domaine d'application pour huit disques intermédiaires sur le rotor [40].

Si le point d'intersection des valeurs H_{net} et Q se situe dans la plage du champ blanc, non pointillé 0 ou sur la limite du champ, 8 disques intermédiaires sont nécessaires sur le rotor [40].

Etape 3 :

Déterminer la largeur d'entrée b_0

L'installation de la turbine pour toujours la largeur d'entrée b_0 doit être définie. La hauteur de chute H_{net} et débits Q sont les facteurs déterminants. Vous pouvez calculer la largeur d'entrée b_0 avec la formule suivante : La largeur d'entrée b doit généralement être déterminée avec une précision de plus / moins 1 mm Pour vérifier si les points de conception sont dans les limites, vous devez vérifier la largeur d'entrée avec le nomogramme 1. Entrez les valeurs pour Q et H_{net} dans le nomogramme 1 comme suit [40].

$$b_0 = 3 \cdot 623 \cdot \frac{Q}{\sqrt{H_{net}}} \dots\dots\dots(III.4)$$

III.2.1.3. la sélection de turbine dans les prises charge :

a) Brise charge BC1 :

Selon la figure (III.15) et suite des résultats obtenue nous avons sélectionnée le type de turbine en fonction de la hauteur de chute qui égale à 4,13m et un débit de 1 114 l/s.

Dans ce cas nous avons un débit qui ne rentre pas dans le domaine d'application de la turbine donc nous avons devisé ce débits en 2 et placée deux turbine au BC1, et le débit devient égale 557 l/s.

Les valeurs des débits et les hauteurs de chute qui appartient à BC1 son présenté sur la figure (III.15), donc nous pouvons placer 2 turbines en parallèle dans BC1.

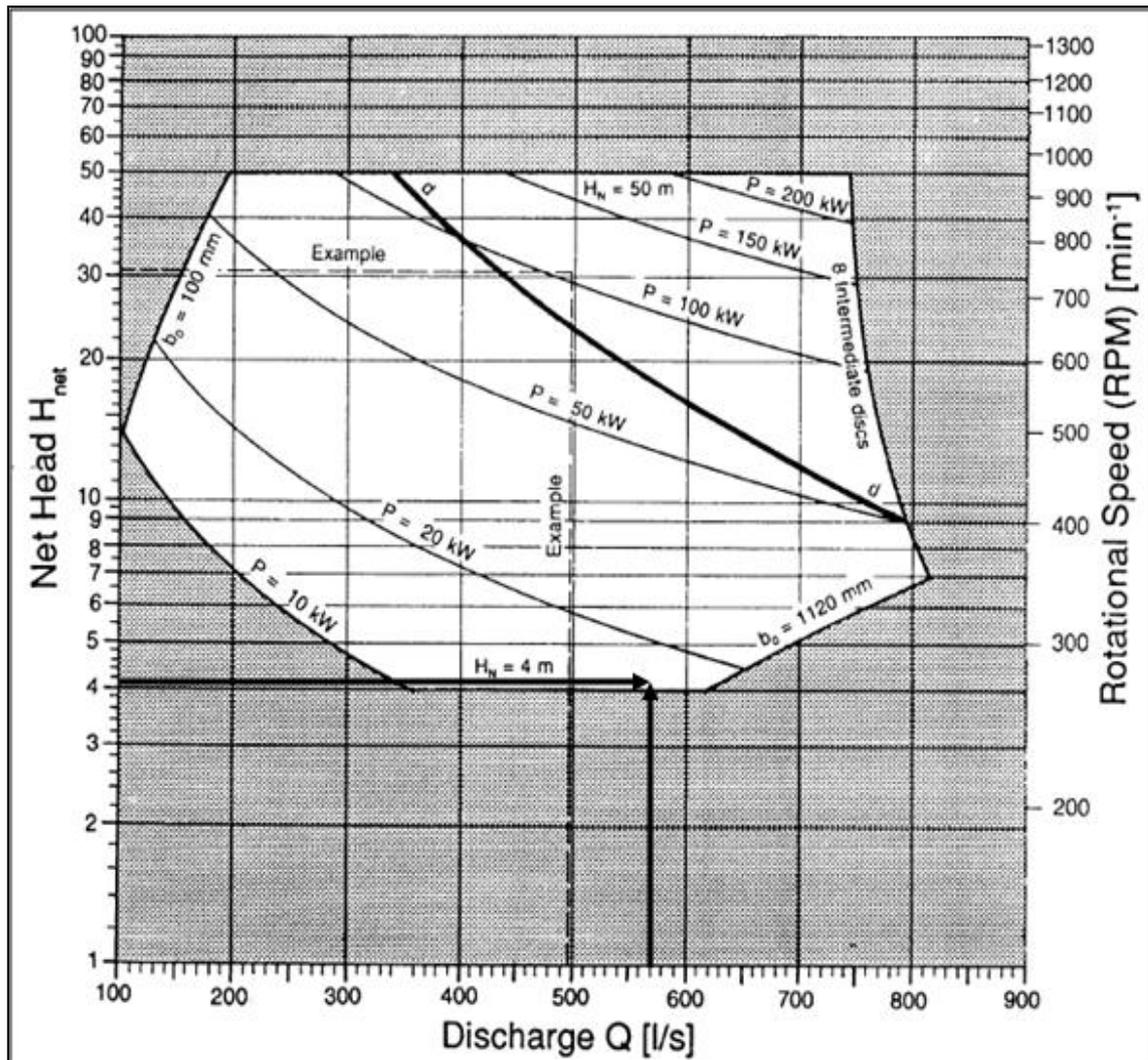


Figure III.15 : LIMITES D'APPLICATION DE LA CONCEPTION DE LA TURBINE À FLUX CROISÉ T12, POUE f1 SORTIE, RPM ET d-d UNE [40].

b) Brise charge BC2 :

Débit = 885 l/s.

Hauteur de chute = 8,348m.

Le débit dépasse les limites d'application, alors nous le dévisé sur 2 et placé deux turbines.

Donc les valeurs deviennent :

$Q = 442 \text{ l/s}$, $H = 8,348 \text{ m}$

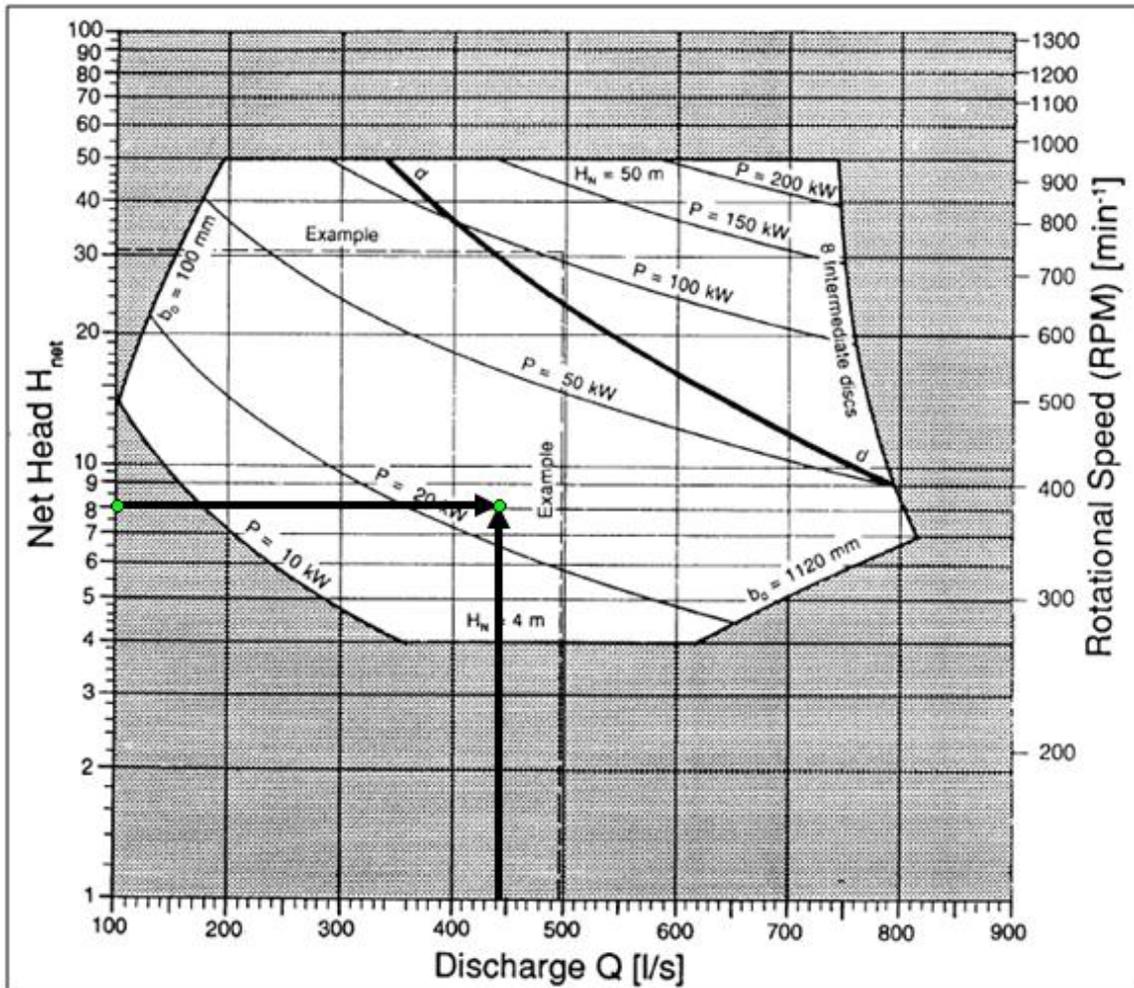


Figure III.16 : points de fonctionnement de la turbine de BC2.

c) Brise charge BC3 :

$Q = 830 \text{ l/s}$.

$H = 9,9 \text{ m}$.

Nous avons aussi devisé le débit en 2 et placé deux turbine dans BC3.

Les valeurs de H et Q devient :

$Q = 414 \text{ l/s}$.

$H = 9,97 \text{ m}$.

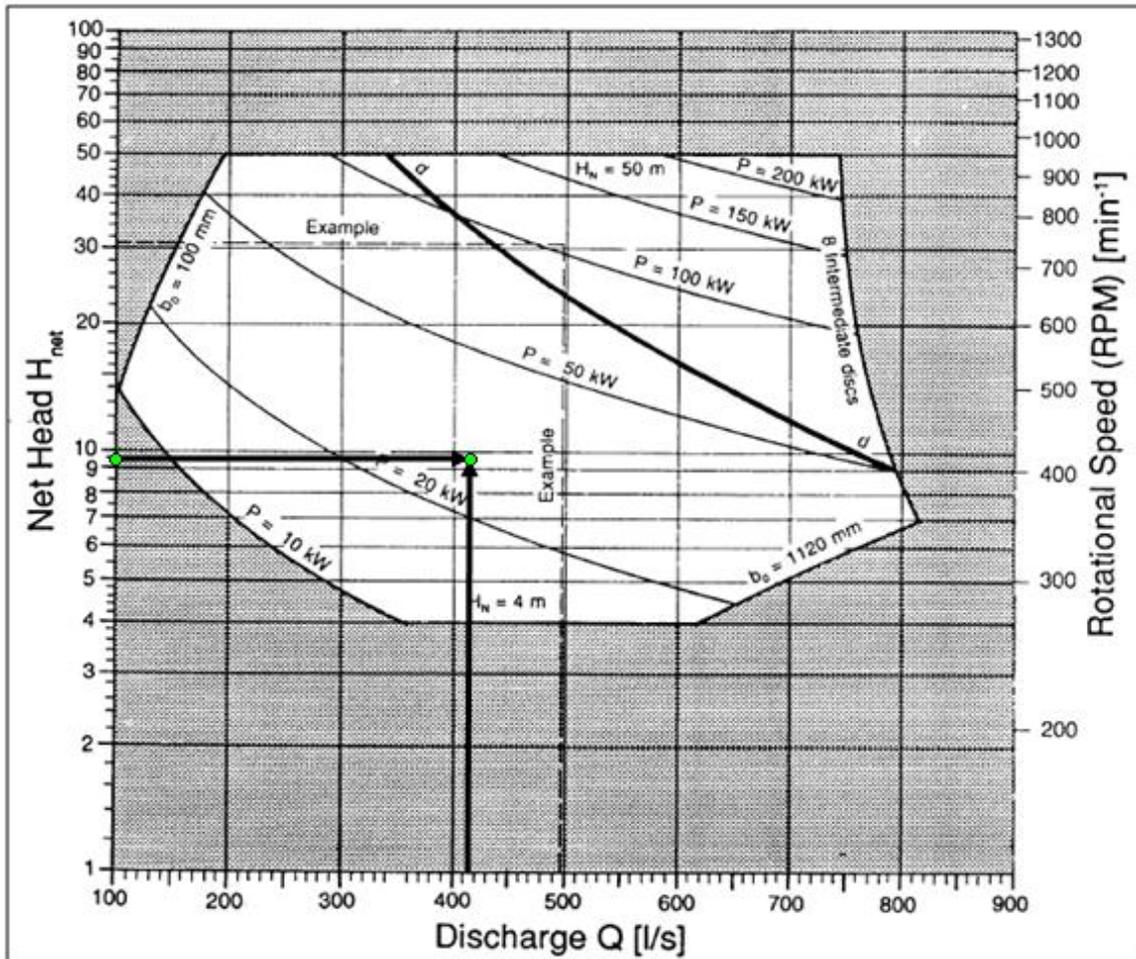


Figure III.17 : points de fonctionnement de la turbine de BC3.

d) Brise charge BC4 :

$Q = 403 \text{ l/s}$.

$H = 9,13 \text{ m}$.

Dans ce cas nous plaçons une seule turbine dans BC4, et son point de fonctionnement présenté dans la figure (III.18).

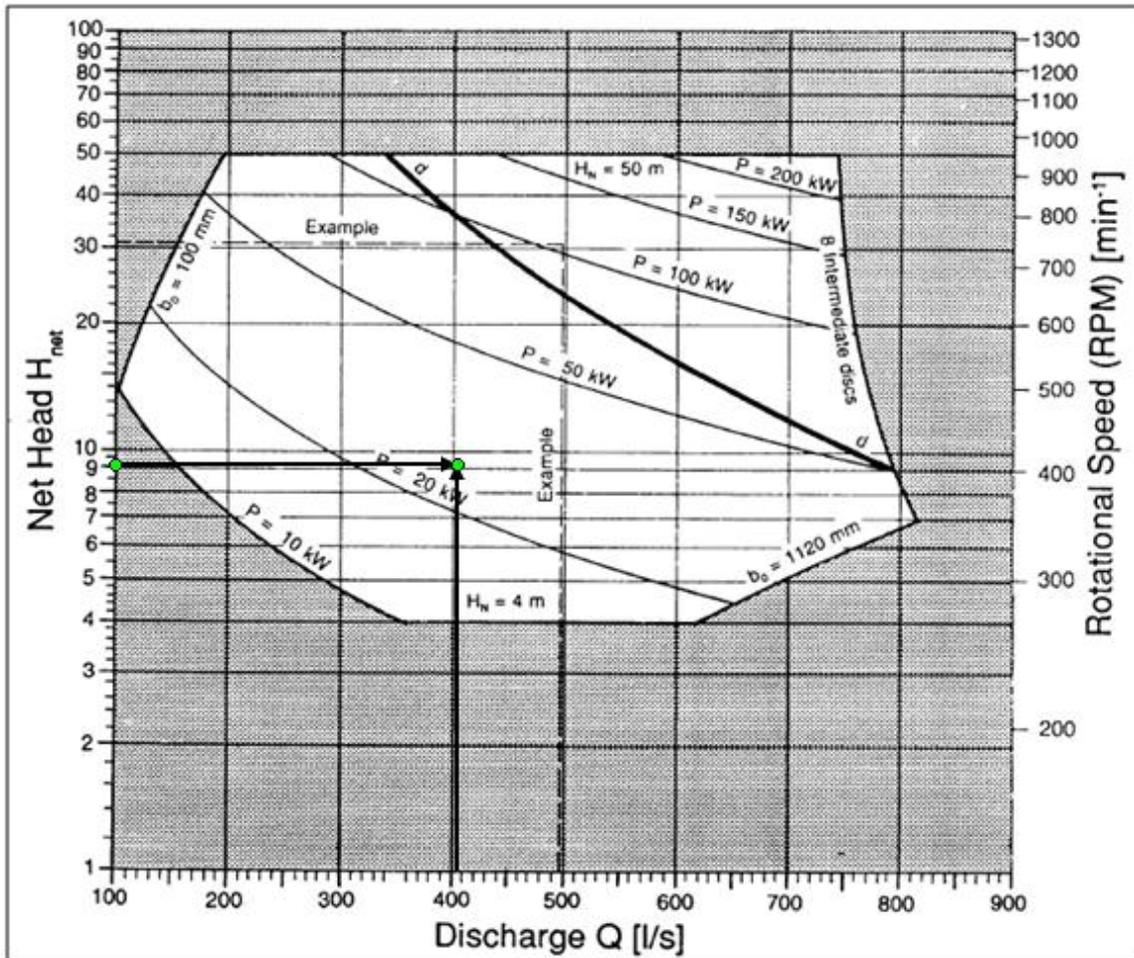


Figure III.18 : points de fonctionnement de la turbine de BC4

Selon les limites d'application de la conception de la turbine T12, la brise charge BC4 rentre dans son domaine d'application, et les trois brise charge qui reste puisque les débits dépasse les 800 l/s nous avons supposé de devisé leur débits sur 2 et placé 2 turbines, et fixé le nombre de disque intermédiaire comme représenté sur le tableau précédent.

III.2.1.4. Paramètres hydraulique des mini stations hydro-électriques (Turbines) :

Les formules pour le calcul des performances de la turbine sont les suivantes :

Formule (1) : Sortie de puissance d'arbre [40].

$$P = \frac{Q \cdot H_{net} \cdot \eta}{102} \dots\dots\dots(III.5)$$

P puissance (KW)

η Rendement de la turbine = 0,7 pour la turbine T12

Formule (2) : vitesse de rotation de la turbine T12 [40].

$$n = \frac{n_{11}}{D} \cdot \sqrt{H_{net}} \dots\dots\dots(III.6)$$

n vitesse de rotation (min^{-1})

n11 Vitesse unitaire = 40 pour la turbine T12

Pour T12 : $n = 133 \cdot \sqrt{H_{net}} \dots\dots\dots(III.7)$

Les résultats de ces paramètres des quatre brises charge sont présenté dans les tableaux (III.8) et (III.9).

Tableau III.8 : présentation des paramètres des turbines de chaque brise charge.

Brise Charge	H net (m)	débits (l/s)	nbr de turbine installé	b0 (mm)	nbr de disque intermédiaire
BC1	4,131	557	2	992,89	2
BC2	8,348	442,5	2	554,86	2
BC3	9,972	415	2	476,13	1
BC4	9,128	403	1	483,25	2

Tableau III.9: Valeurs des puissances des turbines de chaque brise charge en kilowatt.

Brise charge	Nombre de turbine	Puissance unitaire (KW)
BC1	2	25,572
BC2	2	57,918
BC3	2	58,871
BC4	1	39,959
Total	7	182,323

Le résultat obtenu des calculs précédents correspond à l'année 2012 où les débits sont importants.

Tableau III.10 : Débits de chaque brise charge de chaque année. (ADE de production maghnia).

Débits Q (m³/s)						
Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017
BC01	1,114	0,854	1,012	0,947	0,968	0,573
BC02	0,885	0,698	0,855	0,775	0,761	0,372
BC03	0,83	0,642	0,769	0,661	0,675	0,286
BC04	0,403	0,351	0,416	0,428	0,373	0,208

Nous avons suivi les étapes précédentes et refait ces calculs pour l'année 2013 où les débits sont faibles et aussi pour l'année 2017 qui marque des valeurs des débits exceptionnellement très faibles.

Les résultats des deux années sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau III.11 : Résultats obtenus avec les débits de l'année 2013.

Année 2013				
Brise charge	H net (m)	débits (l/s)	Nbr de turbine en fonctionnement	Puissance unitaire (KW)
BC1	10,969	854	2	64,290
BC2	13,377	698	1	64,079
BC3	13,898	642	1	61,233
BC4	12,480	351	1	30,063
TOTAL	/	/	5	219,666

Tableau III.12 : Résultats obtenus de l'année 2017.

Année 2017				
Brise charge	H net (m)	débits (l/s)	Nbr de turbine en fonctionnement	Puissance unitaire (KW)
BC1	16,680	573	1	65,593
BC2	19,196	372	1	48,454
BC3	19,597	286	1	38,241
BC4	17,346	208	1	24,622
TOTAL	/	/	4	176,912

En comparant les résultats compte tenu des données relatives aux années considérées, nous pouvons expliquer que la raison pour que la puissance des sept turbines qui fonctionnent compte tenu de l'année 2012 sont inférieures à celle des quatre turbines en fonctionnement compte tenu de l'année 2013 par le fait que la hauteur de chute est augmentée suite à la diminution des pertes de charges causée par la diminution des débits comme il est présenté dans le tableau (III.13), et pour l'année 2017 qui constitue un cas exceptionnel, parce que c'est une année où nous avons des débits énormément faibles par rapport aux autres années.

Tableau III.13 : comparaison entre les années

Année	2013		2012		2017	
	H net (m)	perte de charge (m)	H net (m)	perte de charge (m)	H net (m)	perte de charge (m)
BC1	10,97	11,38	3,03	19,32	16,68	5,67
BC2	13,38	19,80	8,35	14,05	18,98	3,42
BC3	13,90	21,30	9,97	11,33	19,48	1,82
BC4	12,48	18,80	9,13	73,12	17,25	0,85

II.3. Nombre d'équivalents foyers alimentés en électricité :

Les statistiques de consommation d'électricité par un habitant en Algérie sont tirées d'un site canadien intitulé « perspective monde » qui est un outil de grandes tendances mondiales depuis 1945 qui regroupe les données les plus importantes et les plus fréquemment utilisées par les étudiants et le grand public [41]. Ces statistiques sont représentées dans le tableau III.14 suivant :

Tableau III.14 : consommation d'électricité en Algérie [41].

Année	Consommation en (KWH) par habitant	Consommation d'un foyer de 5 personnes(KWh)
2012	1232	6160
2013	1272	6360
2014	1356	6780
2015	1478	7390
2016	1574	7870
2017	1670	8350

A l'aide de ces statistiques nous pouvons déterminer dans les tableaux III.15-III.16 et III.17, le nombre d'équivalents foyers alimentés par l'énergie produite dans les brises charges du transfert.

Tableau III.15 : Nombre de foyer alimenté en 2012.

Année 2012				
Brise charge	Nombre de turbine	Puissance	énergie produit (kWh)	Nbr de foyer alimenté
BC1	2	31,581	113692,196	13,61
BC2	2	50,703	182531,01	21,86
BC3	2	56,801	204486,496	24,49
BC4	1	25,246	90888,468	10,88
TOTAL	7	164,332	591598,17	70,85

Tableau III.16 : Nombre de foyer alimenté en 2013.

Année 2013				
Brise charge	Nombre de turbine	puissance	énergie produit (kWh)	Nbr de foyer alimenté
BC1	2	64,290	231446,091	27,72
BC2	1	64,079	230684,766	27,63
BC3	1	61,233	220440,198	26,40
BC4	1	30,063	108227,85	12,96
TOTAL	5	219,666	790798,906	94,71

Tableau III.17 : Nombre de foyer alimenté en 2017.

Année 2017				
Brise charge	Nombre de turbine	Puissance	énergie produit (kWh)	Nbr de foyer alimenté
BC1	1	65,593	236137,572	28,28
BC2	1	48,454	174437,911	20,89
BC3	1	38,241	137667,925	16,49
BC4	1	24,622	88640,109	10,61
TOTAL	4	176,912	636883,518	76,27

Alors après ce travail nous pouvons affirmer que le fait d'installer des turbines à l'entrée des brises charges nous permis de récupérer l'énergie contenue dans l'eau et qui pourra être techniquement transférer en énergie par l'installation de petites unités hydro-électriques. L'utilisation des turbines type Banki (cross flow) nous permettra de récupérer et de produire l'énergie électrique malgré la faiblesse des débits et des hauteurs de chutes aux brises charges. Les installations proposées permuteront la production de ce qui est équivalent à la consommation moyenne de 70 à 94 foyers en électricité.

Conclusion

Conclusion :

Il existe plusieurs sources d'énergies renouvelables qui sont utilisées dans le domaine de la production de l'énergie électrique. Parmi ces énergies on trouve l'énergie de l'eau (débit, pression) nous permet faire tourner des turbines qui produisent de l'énergie électrique.

Dans certains grands transferts d'eau de forte charge sont dissipées par des brises charges pour protéger les équipements et les conduites, sans aucun profit ; alors qu'elle pourra offrir une véritable opportunité pour sa récupération et sa réutilisation pour produire de l'énergie électrique. C'est optique ; le transfert de BENI BAHDEL-ORAN qui a été réalisé depuis plusieurs décennies n'utilise aucune énergie extérieure pour acheminer l'eau du barrage de BENI BAHDEL jusqu'à ORAN au contraire il dispose de huit brises charges pour briser les charge hydrauliques ; Ainsi ce dernier constitue une véritable aubaine pour la récupération une énergie pratiquement gratuite.

Ce transfère a une longueur de 170 km environ, avec une conduite de diamètre 1100mm, il est devisé en huit tronçon par des brises charges. Lors de son étude les brises charges ont été installés dans endroits précis pour remédier aux charges statiques et de ce fait les charges dynamiques à l'entrées des brise charge été relativement faibles, de plus, suite aux nouvelles affectations des ressources en eau les transferts à subit plusieurs piquages modifiant considérablement les débits transitant dans les différents tronçons.

Le challenge a été de refaire les calculs hydrauliques de ce transferts en tenant comptes des statistiques des débits transférer fournis par l'ADE production et malgré les hauteurs de chutes faibles aux brises charges de définir les prises brises les plus aptes à recevoir des mini stations hydroélectriques d'une part et d'en faire un choix parmi toutes les turbines qui existe sur le marché qui peuvent fonctionner convenablement dans les conditions hydrauliques de ce transfert.

Parmi les turbines qui existent, nous trouvons la turbine Kaplan, qui est adopté pour des grandes valeurs de débits et avec des petites valeurs de H qui est la hauteur de chute. Francis une turbine qui fonctionne avec des valeurs de débits et des hauteurs de chute qui sont relativement moyennes, Pelton c'est la turbine qui fonctionne à fort charge c'est à dire avec grand valeur de H (hauteur de chute) et des débits qui sont petit, et la

Conclusion

turbine Banki, qui est doté pour des cas ou les valeurs des débits et des hauteur de chute moyens à petits ; ce dernier type constitue l'ultime recours pour la récupérations d'énergie sur le transfert BENI BAHDEL–ORAN.

Lors du calcul hydraulique de ce transfert, nous avons eu un problème de localisation des piquages qui existent sur ce transfert et entre les brises charges et ceci malgré nos efforts d'investigations auprès des services concernés (ADE de production Maghnia, DRE), alors la solution adopté été de supposer que la conduite assure un service en route, ainsi, nous avons pu estimer les valeurs des pertes de charge pour définir les hauteurs de chutes à l'entrée de chaque brise charge. Les valeurs obtenues varient entre 4 et 9 mètres comme hauteur de chute qui sont la base de choix de la turbine Banki, appelé aussi cross flow dans cette étude.

Suite au diagramme de la turbine Banki (cross flow), qui présent le domaine de fonctionnement de cette dernier sous forme d'intervalles ou les valeurs de H (hauteur de chut) et les valeurs de Q (débits) définissent son domaine d'application caractérisé par des hauteurs de chute entre 4 et 50 m et des débits varie entre 100 et 800 l/s.

Suite au calcul hydraulique quatre brises charge sont susceptible de recevoir des mini stations hydroélectriques (BC1, BC2, BC3 et BC4. Sur les trois premiers brises charges nous avons eu des débits relativement élevée, dépassant les 800 l/s d'où la possibilité de répartir leurs débits sur deux conduites pour faire fonctionner deux turbines simultanément et récupérer le maximum d'énergie pour produire plus d'énergie électrique.

A la fin de ce modeste travail nous avons pu proposer d'installer un total de sept turbines dans les quatre premières brises charges. Ces sept turbines ne fonctionnent que dans le cas de forts débits. Dans le cas où les débits sont relativement faible, le nombre des turbines qui fonctionnent chute à cinq voir quatre turbines selon les débits disponibles. La production de ces dernières en termes d'énergie électrique, nous permet d'alimenter l'équivalent de 70 à 94 foyers de 5 personnes selon les débits disponibles et ceci malgré les débits et des hauteurs de chute relativement faible à cause de la position des brises charges.

Cette modeste étude ne peut être qualifiée de parfaite à ce stade, nous espérons qu'elle constituera un travail de base pour d'autres travaux futur dans le domaine de la récupération d'énergie sur les transferts et les réseaux hydrauliques.

LISTE de Référence bibliographique :

- [1] LE DELLIOU P., 2007, Les barrages : Conception et maintenance, Edition Press universitaire de Lyon, 264p.
- [2] <https://www.berryprovince.com/wp-content/uploads/wpetourisme/Barrage-Eguzon-570x400.jpg>. (Consulté le 12/03/2018, lien d'une image).
- [3] BENSAOULA F., ADJIM M., 2008, La mobilisation Des ressources en eau : Contexte climatique et contraintes socio-économiques (Cas de la Wilaya de Tlemcen), Larhyss Journal, Issn 1112-3680, N° 07, Juin 2008, pp.79-92.
- [4] popodoran, message de 2013, barrage des BENI-BAHDEL,
<http://popodoran.canalblog.com/archives/2013/03/17/26675427.html> (Consulté le 12/03/2018).
- [5] http://p3.storage.canalblog.com/35/52/399668/84770960_o.jpg.(Consulté le 15/03/2018).
- [6] SALAH F.Z., BENSAFI A., 2017, Estimation de l'envasement du barrage de Beni-Bahdel par le modèle pisa. Mémoire du master en Hydraulique, Université Abou bakr-Belkaid, Tlemcen.
- [7] <http://www.djazairess.com/fr/lqo/5142813>. (consulté le 28/03/2018).
- [8] GHOMRI Z., MAHAMMEDI H., 2017. Analyse et tendance des écoulements superficiels entrant aux barrages du bv de la Tafna. Mémoire de master en Hydraulique, Université Abou bakr belkaid, Tlemcen.
- [9] ADE Production, synthèse diagnostic des adductions article n° 14.
- [10] SOCOMAN., E.G.T.H., CHABAL et NEYRPIC., 1951. Les travaux de l'adduction en eau potable d'Oran et mers el Kebir p 39.
- [11] BECHAUX J., 1967, LA HOUILLE BLANCHE/N°4, Champ d'application et des exemples de réalisation de transport d'eau à grand distance
- [12] BEIGHERBI A., ZILAL M., 1997, Conduite Beni-Bahdel-Oran, Etude comparative entre les paramètres de conception et les paramètres d'exploitation.

Mémoire de D.E.U.A en Hydraulique urbaine, Département d'hydraulique, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen.

[13] STUCKY A., 1937, n° 12.p24.

[14] http://p4.storage.canalblog.com/49/05/399668/84770730_o.jpg. (consulté le 02/04/2018).

[15] LAOUARI A., 2011, Etude en cfd d'une turbine hydraulique, Magister en management des projets énergétiques, Ecole doctorale en énergétique et développement durable Boumerdes.

[16] DAVID BLAISE TSUANYO., 2011, Modélisation et caractérisation d'une turbine de Tesla, mémoire de Master en énergie et procédés industriels, Institut Internationale d'ingénierie et de l'environnement.

[17] HEINZ et CAPLIEZ, nn, Technologie d'électricité, Edition Foucher, tome 1, paris.

[18]

https://www.dictionnaireenvironnement.com/turbine_hydraulique_ID2055.html.(consulté le 05/04/2018).

[19] PACER A., 1995, Turbine hydraulique et énergies renouvelables, office fédérale des questions conjoncturelles, Suisse.

[20] RAABE., Great J., 1987, the development of hydraulic machinery. In hydraulics, a historical overview, Rotterdam, pp.251-266.

[21] RATSARAMODY J., 1992, Programme de Cao-Dao d'installations hydroélectrique utilisable au stade d'un avant-projet, Thèse EES Polytechnique Antsirana, Lausanne.

[22] Gino Blommaert., 2000, étude de comportement dynamique des turbines Francis : contrôle actif de leur stabilité de fonctionnement. Thèse de doctorat, Département Génie mécanique l'école Polytechnique Fédérale de Lausanne.

[23] MEHDI N., 2011. Supervision de sources de production d'électricité hybrides éolien/hydraulique dans les réseaux d'énergie interconnectés ou isolés. Thèse de doctorat, l'école nationale supérieure d'arts et métiers, Département génie électrique, Paris TECH-Centre de Lille.

[24] <http://www.jlahydro.be/fr/turbines-cross-flow-jla>.(consulté le 08/04/2018).

[25] HENRY P., 1982, Calcul et trace de l'aubage Francis, Notes de cours, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

[26] SOUIDI M., ZAHZOUH H., 2009. Production de l'énergie électrique par l'eau. Mémoire de Licence en hydraulique option Science et Technique de l'eau, Département d'hydraulique, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen.

[27]

http://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/central_hydroelectrique.php4 (consulté le 15/04/2018).

[28] PACER, 1992, 724/244T, Guide pratique pour la réalisation de Petite Central Hydraulique, Energie renouvelable.

[29] <http://www.tret.net/pagesFr/FaqWater.htm>.(consulté le 15/04/2018).

[30]

<http://www2.aclyon.fr/enseigne/physique/phychi2/squelettes/lyondoc/lyonpa/energie.pdf>.(consulté le 16/04/2018).

[31] <http://tpe.vije.net/dossier.htm>.(consulté le 16/04/2018).

[32] <http://www.inti.be/ecotopie/hydro.html>. (Consulté le 20/04/2018).

[33] <http://www.riaed.net/IMG/pdf/MicroCentrale-Hydraulique.pdf>.(consulté le 20/04/2018).

[34]

<http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=44248CE7C60977F2465EBB99422F32821144075199897.PD>.(consulté le 22/04/2018).

[35] DUPANT A., 1979 Hydraulique Urbaine ouvrage de transport élévation et distribution des eaux tome 2 Edition Eyrolles, Paris.

[36] JUFM formation 2009-2010 13s6 MPC-Sv Chute des corps-nombre magique de Reynolds.

[37] <https://www.mecaflux.com/colebrook.htm>.(consulté le 23/04/2018).

[38] SHEMA, EDF, Dimensionnement Des Turbines, Lycée Chevrollier, mars 2010.

[39]

http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/S2_Turbomachinery/B7_H

Hydraulic_Turbines/C1_Introduction_to_Hydraulic_Turbines/S2B7C1_files/Cross_flow.
htm.

[40] MHPG, Harnessing Water Power on a Small Scale, Volume 3, Cross Flow Turbine
Design and Equipment Engineering.

[41]

[\(http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/tend/DZA/fr/EG.USE.ELEC.KH.PC.html\)](http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/tend/DZA/fr/EG.USE.ELEC.KH.PC.html).
(consulté le 31/04/2018).

Résumer

La production d'énergie électrique se fait par différentes méthodes, en utilisant du gaz naturel et d'autres sources fossiles qui sont en voie d'épuisement et provoquent l'effet de serre et le rejet de CO₂ dans l'atmosphère, et des sources qui sont renouvelables et ne présentent aucun danger sur l'environnement. Parmi ces sources, l'énergie de l'eau. D'où vient l'idée de récupérer l'énergie d'eau du transfert BENI BAHDEL – ORAN.

La conduite de ce transfert a un diamètre de 1100 mm en Béton Projeté, de longueur de 170 km environ, comporte huit brises charges, où nous avons travaillé sur les quatre premiers pour récupérer de l'énergie dissipée en installant des turbines. Parmi les turbines qui existent, nous avons choisi la turbine Banki appelée aussi cross flow qui fonctionne à faible charge. Nous avons pu installer sept turbines et produire une énergie électrique, que nous pouvons alimenter un nombre qui varie entre 70 à 94 foyers.

Mots clés : énergie renouvelable, transfert d'eau, brise charge, turbines, beni bahdel-oran.

ملخص

يتم إنتاج الطاقة الكهربائية بطرق مختلفة ، باستخدام الغاز الطبيعي ومصادر الحفريات الأخرى التي تكون في حالة استنفاد وتسبب التصحر وإطلاق ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ، ومصادر التي هي متجددة ولا تشكل أي خطر على البيئة. من بين هذه المصادر ، طاقة المياه. من أين تأتي فكرة استرجاع الطاقة المائية من نقل بني بهدل لوهران. ويبلغ قطر هذا القناة 1100 مم ، أي حوالي 170 كيلومتراً، تكون من ثماني قطع ، عملنا في الأربعة الأولى لاستعادة الطاقة التي تبدها توربينات التثبيت. بين التوربينات الموجودة ، اخترنا التوربين الذي يسمى بانكي أيضا التدفق المتقاطع الذي يعمل عند حمل منخفض. لقد تمكنا من تثبيت سبعة توربينات وإنتاج الطاقة الكهربائية ، والتي يمكننا توريدها إلى أي مكان من 70 إلى 94 أسرة. كلمات مفتاحية: الطاقة المتجددة ، نقل المياه ، كاسر الأمواج ، التوربينات ، نقل بني بهدل لوهران.

Abstract

The production of electrical energy is done by different methods, using natural gas and other fossil sources that are in a voice of exhaustion and causes the greenhouse effect and the release of CO₂ in the atmosphere, and sources which are renewable and present no danger to the environment. Among these sources, the energy of water. Where does the idea of recovering the water energy from the BENI BAHDEL - ORAN transfer come from.

The conduct of this transfer has a diameter of 1100 mm in Projected Concrete, about 170 km long, includes eight breezes, where we worked on the first four to recover energy dissipated by install turbines. the turbines that exist, we chose the turbine called Banki also cross flow that runs at low load. We have been able to install seven turbines and produce electrical energy, which we can supply to anywhere from 70 to 94 households.

Key words: renewable energy, water transfer, breakwater, turbines, blessed bahdel-oran