

REPEBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud MEMMERI TIZI-OUZOU

Faculté Génie de la Construction

Département Génie Civil



PROJET de fin d'étude

En vue d'obtention de diplôme de MASTER en Génie civil

Option : Constructions Hydrauliques et Aménagements

THEME

**Optimisation de l'énergie électrique dans les stations de
dessalement des eaux de mer par osmose inverse
cas de la station Palm Beach**

Proposé par : Mr BOUZIANE M^{ed} Toufik

Etudié par : DIF Nouara

MOUTARFI Samira

Promoteur: Mr. MESSIED Mourad

Co-promoteur: Mr. BOUZIANE M^{ed} Toufik

Promotion: 2017-2018

Remerciements

Tout d'abord nous remercions **DIEU** pour nous avoir données la force et le courage d'avoir fait ce travail.

Nos remerciements sont exprimés particulièrement :

A notre promoteur **Mer MESSIED Mourad**, pour ces orientations, ces conseils judicieux,

A notre Co-promoteur **Mer BOUZIAN M^{ed} Tewfik** professeur à l'université de Biskra pour sa disponibilité dont il à toujours fait preuve à

Notre égard et surtout pour la volonté qu'il a manifesté tout au long de L'élaboration de cette thèse.

A tous les doctorants de laboratoire de recherche aménagements hydrauliques et environnement (LAHE) de Biskra

A **MRS AHMIA ELHADI** chef de service maintenance et **ABDERRAHMANE HAMADOUCHE** chef de centre du dessalement à Seaal la station des eaux de mer Palm Beach.

Tous les ingénieurs et les fonctionnaires de la station Palm Beach

Nous remercions également tout le personnel de département Génie Civil, particulièrement nos enseignants, qui nous ont aidés à enrichie nos connaissances durant les cinq ans de notre formations.

Surtout les membres de jury qui nous ferons l'honneur de juger notre travail.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à

La mémoire de mon très cher père que son âme repose en paix.

**Ma chère mère ma source d'encouragement et de réussite ; pour
son aide et son soutien.**

Mes très chers frères et mes chères sœurs

Mes nièces

Mes neveux

Mon fiancer Sofiane

Mes beaux frères ainsi qu'à mes belles sœurs

Mon beau père et ma belle mère

Toute mes amies et mes amis

La promotion CHA 2018.

Nouara

Dédicace

Je dédie ce modeste travail particulièrement à :

Mes chers parents (Djouhra et Ali), qui ont consacré leurs existence à bâtir la mienne, pour leur soutien, patience et soucis de tendresse.

Mes bien aimées sœurs

Mon cher frère Mouhamed

Mes bous frères, mes neveux et mes nièces

Toute la famille MOUTARFI et ABDELLAOUI

Mon cher fiancé AIT ABBAOU Mouloud et A toute ma belle famille

Mes chers amis

Tous les étudiants de la promotion construction hydraulique et aménagement 2017/2018

Tous ceux qui me sont chers

Samira

Résumé

Dont l'objectif d'intégrer une turbine au sein du dessalement de l'eau de mer à la station Palm Beach pour optimiser le fonctionnement de cette dernière et assurer la stabilité du réseau.

Nous avons consacré la première partie du travail pour montrer tous les aspects du programme national de développement des énergies renouvelables adopté par le gouvernement, l'état de l'art sur la sélection du type de turbine et les données spécifiques au site sur lequel la machine sera installée, et en fin de présentation du procédé de dessalement de la station de Palm Beach.

Et la seconde partie présente une application de l'intégration des techniques de réduction des coûts d'exploitation dans la station de dessalement de Palm Beach par conséquent la diminution du prix de revient du mètre cube d'eau produit.

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 3

Partie théorique

Chapitre I : Programme national de développement des énergies renouvelables et tarification de l'énergie électrique.

Introduction	6
I.1 Programme national	6
I.2 Perspectives d'investissement	7
I.3 Cadre juridique et mesures incitatives	9
I.4 Mesures d'incitation et d'encouragement	10
I.5 Autres mesures incitatives	11
I.6 LA Tarification de l'électricité	11
I.6.1 Introduction.....	11
I.6.2 Les principes de la tarification de l'électricité	11
I.6.3. Présentation du système tarifaire de l'électricité	12
I.6.3.1. Structure générale des tarifs	12
I.6.3.2. Facturation de l'énergie réactive.....	13
I.6.4. Les périodes tarifaires	13
I.6.5. Présentation des tarifs.....	14
I.6.6. Calcul des pertes à vide et en charge	17
I.6.7. Formule Tarifaire générale	17
CONCLUSION.....	18

CHAPITRE 2 : Généralités sur les turbines

Introduction	20
II.1 Turbines hydrauliques	21
II.1.1 Turbine à action	21
II.1.1.1. Principe de fonctionnement	22
II.1.1.2. Turbine Pelton	23
II.1.2. Turbines à réaction	24
II.1.2.1. Principe de fonctionnement.....	25
II.1.2.2. Turbine Francis	26
II.1.2.3. Turbines hélice et Kaplan	27
II.1.3. Résumé des principaux types turbines et de leur domaine d'application	28
II.1.4. Pompe inversée	29
II.1.5. La turbine Banki	30
II.1.5.1. Historique	30
II.1.5.2. Définition	30
II.1.5.3. Description de la turbine	30
II.1.5.4. Principales difficultés envisagées	31
Conclusion	32

CHAPITRE 3 : Dessalement des eaux de mer

SOMMAIRE

Introduction	36
III.1. Définition de dessalement des eaux de mer	36
III.2. Etapes de dessalement des eaux de mer	36
III.2.1. Captage d'eaux de mer	36
III.2.1.1 Prise directe en mer	36
III.2.1.2 Prise indirecte en mer	36
III.2.2. Prétraitement	37
III.2.2.1. Le prétraitement physique	37
III.2.2.2. Le prétraitement chimique	37
III.2.3. Le procédé de dessalement lui-même	38
III.2.4. Le poste traitement	38
III.3. Les différents procédés de dessalement des eaux de mer	38
III.3.1. Procédé à membranes	38
III.3.1.1. Osmose inverse	38
III.3.1.2. Electrodialyse	39
III.3.2. Procédé à distillation (thermiques)	39
III.3.2.1. Distillation à détente étagées (Distillation Multi stages Flash (MSF).....	39
III.3.2.2. Distillation à multi effets	40
III.3.2.3. Distillation par compression mécanique de vapeur (MVC)	41
III.3.3. Autres procédés	41
III.3.3.1. Congélation	41
III.3.3.2. Distillation sur membranes	41
III.3.3.3. L'ultrafiltration	42
III.3.3.4. Microfiltration	42
III.3.3.5. Nano filtration	42
III.4. Présentation de la station de dessalement de Palm Beach	43
III.4.1. Localisation de la station	43
III.4.2. Principe de dessalement par osmose inverse de la station	44
III.4.2.1. Prise d'eau de mer	44
III.4.2.2. Décanteur	45
III.4.2.3. Filtres à sable	47
III.4.2.4. Le micro filtre	47
III.4.3. Installation de dessalement	48
III.4.3.1. Pompe à HP	48
III.4.3.2. Les modules d'osmose inverse (membranes)	49
III.4.3.3. Réservoir d'eau traité	49
III.4.3.4. Bac de saumure	50
III.4.3.5. Poste traitement	50
III.4.3.6. Pompes de refoulements	50
Conclusion	51

Partie pratique

SOMMAIRE

Chapitre4 : Application sur l'optimisation de l'énergie électrique dans la station de dessalement Palm Beach

Introduction.....	53
IV.1. Diagnostic des factures et l'optimisation de l'utilisation de l'énergie électrique.....	53
IV.1.1. Factures de la station en DA (année 2017.....	53
IV.1.2. Calcul de la facture avec les différents tarifs	54
IV.2. Compensation de l'énergie réactive	54
IV.2.1. Energies et puissances électriques.....	55
IV.2.2. INCONVENIENTS D'UN MAUVAIS COS φ	56
IV.2.3. Compensation de l'énergie réactive	57
IV.2.4. Moyens de compensation.....	58
IV.2.4.1 La compensation automatique	58
IV.3. La sélection de type de turbine et son dimensionnement.....	59
IV.3.1 La sélection de type de turbine	59
IV.3.1.1. La puissance mécanique	60
IV.3.1.2. La puissance électrique	62
IV.3.1.3. Calcul de la production annuelle de l'énergie électrique	62
IV.3.2. Dimensionnement de la turbine.....	62
IV.3.2.1 La vitesse de rotation N	63
IV.3.2.2 La vitesse spécifique	63
IV.3.2.3 Calcule des dimensions de la turbine	64
Conclusion	64
CONCLUSION GENERALE	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Valeurs normalisées de la PMD (en KW	13
Tableau I. 2 : périodes tarifaires	14
Tableau I.3 : Domaine de tension et Tarifs	15
Tableau I.4 : Descriptions des tarifs	15
Tableau I.5 : Présentation des tarifs et leur prix.....	16
Tableau I.6 : les puissances en fonction de type de pertes	17
Tableau II. 1: Puissance installée des énergies renouvelables en France (2014	20
Tableau III.1 : Caractéristiques de la pompe de transfert	46
Tableau III.2 : Caractéristiques des filtres à sable.....	47
Tableau III.3 : caractéristique de la pompe haute pression	48
Tableau III.4 : Caractéristique de la pompe refoulement.....	50
Tableau IV.1 : Factures de la station en DA (années 2017).....	53
Tableau IV.2 : Tableau récapitulatif de calcul de la facture	54
Tableau. IV.3 : Caractéristiques des Pompes	57
Tableau IV. 4: Le type de condensateur	59
Tableau IV.5. Caractéristiques des différents types de turbines	61
Tableau IV.6. Rendement des générateurs à charge totale.....	62
Tableau IV.7 : les domaines d'utilisation des différents types de turbines.....	64
Tableau IV.8. Tableau récapitulatif des résultats	65

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Phases du programme algérien des énergies renouvelables	8
Figure I.2 : Objectifs du programme algérien des Energies renouvelables.....	8
Figure I.3 : Le programme de développement des énergies renouvelables	9
Figure II. 1: Centrale hydroélectrique avec une turbine à réaction	21
Figure II. 2: Roue d'une turbine Pelton.....	22
Figure II.3. Schéma d'une turbine à action avec ses paramètres de fonctionnement	22
Figure II.4.: Vue schématique d'une roue Pelton à deux jets et paramètres principaux	23
Figure II.5 : Turbine Francis	24
Figure II.6.Turbine Kaplan	24
Figure II.7. Image schématique d'une turbine à réaction	25
Figure II.8. Composants principaux d'une turbine Francis	26
Figure II.9. Composants principaux d'une turbine Kaplan	27
Figure II.10. : Turbines à action	28
Figure II.11. Turbines à réaction	29
Figure II.12. Vue éclatée d'une turbine Banki (Ossberger)	31
Figure II.13. Caractéristique des l'écoulement	32
Figure III.1: Schéma général d'une installation de dessalement	36
Figure III.2 : Principe d'osmose inverse	38
Figure III.3 : Schéma de principe de l'électrodialyse	39
Figure III.4 : Distillation multi flash	40
Figure III.5 : Procédé de la distillation multi effets	40
Figure III.6 : Distillation par compression de vapeur	41
Figure III.7 : Place de la nano filtration entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration	42
Figure III.8: Vue de la station de dessalement de palm Beach	43
Figure III.9 : La situation de la station de dessalement de l'eau de mer Alger /Staoueli / palm Beach (photo satellite)	43
Figure III.10 : conduite de prise d'eau	44
Figure III.11 : Pompe de prise d'eau de mer	44
Figure III.12 : la crépine d'aspiration	45
Figure III.13 : Le décanteur	45
Figure III.14 : Le premier compartiment	45
Figure III.15 : Le deuxième compartiment	46
Figure III.16 : Le troisième compartiment	46
Figure III.17 : Les filtres à sable	47
Figure III.18 : Les micro filtres	48
Figure III.19 : La pompe HP	48
Figure III.20: courbe caractéristique de la pompe HP	49
Figure III.21 : Les tubes de pression et les membranes	49
Figure III.22 : Les pompes de refoulements	50
Figure IV.1 : variation de la facturation d'électricité pour chaque mois	53
Figure IV.2 : Histogramme des factures en fonction des tarifs.....	54
Figure IV.3.La résultante vectorielle de l'énergie active et réactive.....	56
Figure IV.4 : Schéma de principe de la compensation.....	58

LISTE DES FIGURES

Figure IV.5 : Diagramme de choix de types de turbine	60
Figure IV.6 : Forme des courbes de rendement de différentes turbines pour des débits variables	61

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Une quantité équivalant à 97,5% du stock d'eau de la planète est salée, seule une fraction correspondant à 2,5 % se compose d'eau douce. Environ 70% de cette eau douce de la planète est fixée dans les calottes glaciaires des pôles et une partie importante des 30% restants est constituée par des nappes aquifères souterraines dans les régions reculées. En effet, seule une fraction minuscule de l'eau douce (moins de 1% de l'eau douce totale, soit 0,007 % du stock d'eau mondial) est disponible dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs et est facilement accessible à l'homme pour son utilisation directe. En outre, la répartition spatiale et temporelle du stock et du débit d'eau douce est très inégale.

Par suite de l'extension des régions arides et aussi de l'utilisation intensive de l'eau dans les zones urbaines du monde entier, il est fréquent que l'eau douce ne soit pas disponible en quantités voulues.

Pour répondre à l'insuffisance de la disponibilité des ressources en eau, le recours au dessalement de l'eau de mer par des procédés thermiques ou membranaires est la solution qui a été envisagée pendant ces dernières années.

Produire une eau potable de qualité acceptable avec un coût minimal est le principal objectif de tous les exploitants. Le recours aux techniques membranaires est de plus en plus important pour résoudre le problème d'approvisionnement en eau. L'osmose inverse devient le procédé le plus courant, le plus rentable et le moins énergivore par rapport au procédé de distillation, ce procédé fonctionne sous pression ce qui nécessite de l'énergie sous forme électrique pour alimenter les pompes hautes pressions qui refoulent l'eau de mer et la faire passer à travers la membrane filtrante et qui sont caractérisées par des besoins énergétiques importants, représentant près de 50% du coût global d'un mètre cube d'eau produite.

La réduction de la consommation d'énergie est un enjeu majeur afin de satisfaire une demande croissante avec meilleure qualité et à moindre coût. L'objectif de cette étude est d'optimiser les consommations énergétiques des stations de dessalement basées sur le procédé d'osmose inverse, minimiser les coûts de fonctionnement dans le système et faire développer les énergies renouvelables.

Notre présente étude est subdivisée en quatre chapitres, à savoir :

Le premier chapitre montre tous les aspects du programme national de développement des énergies renouvelables adopté par le gouvernement et l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique national dans la perspective de préservation des ressources fossiles, de diversification des filières de production de l'électricité et de contribution au développement durable.

Dans le second chapitre il s'agit de l'état de l'art sur la sélection du type de turbine et les données spécifiques au site sur lequel la machine sera installée. Il est donc utile d'établir le plus exactement possible la condition d'exploitation, en gardant en mémoire qu'une turbine à réaction, de type Francis ou Kaplan, s'adapte mieux à des fortes variations de chute relative qu'une turbine à action, Pelton ou Cross flow.

INTRODUCTION GENERALE

Le troisième chapitre traite le dessalement de l'eau de mer, les procédés existant, et la présentation du procédé de dessalement de la station de Palm Beach et les données techniques d'exploitation.

Le dernier chapitre est une application de l'intégration des technique de réduction des couts d'exploitation dans la station de dessalement de Palm Beach par conséquent la diminution du prix de reviens du mètre cube d'eau produit.

Notre étude se termine par une conclusion générale ou sont synthétisé les résultats ainsi obtenus.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I
Programme national de développement des
énergies renouvelables et tarification de
l'énergie électrique

Introduction

Le programme national de développement des énergies renouvelables vient d'être adopté par le gouvernement. En effet, l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique national constitue un enjeu majeur dans la perspective de préservation des ressources fossiles, de diversification des filières de production de l'électricité et de contribution au développement durable.

A la faveur du programme de développement des énergies renouvelables 2011-2030 adopté par le Gouvernement en février 2011, les énergies renouvelables se placent au cœur des politiques énergétique et économique menées par l'Algérie.

Ce programme a connu une première phase consacrée à la réalisation de projets pilotes et de tests des différentes technologies disponibles, durant laquelle des éléments pertinents concernant les évolutions technologiques des filières considérées sont apparus sur la scène énergétique et ont conduit à la révision de ce programme.

Parmi ces éléments nouveaux, il convient de citer :

- Une meilleure connaissance du potentiel national en énergies renouvelables, notamment pour le solaire et l'éolien, suite aux études engagées ;
- La baisse des coûts des filières photovoltaïque et éolienne qui s'affirment de plus en plus sur le marché pour constituer des filières viables à considérer ;
- Les coûts encore élevés de la filière CSP (solaire thermique) induisant une croissance très lente du développement de ce marché à travers le monde ;
- Le parachèvement d'une réglementation nationale cohérente et attractive en direction des investisseurs.

I.1 Programme national :

La révision du nouveau programme (2015 - 2030) porte ainsi, sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, sur l'introduction des filières de la biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie, et également sur le report, à 2021, du développement du solaire thermique (CSP).

La consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour les besoins du marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, dont plus de 4500 MW seront réalisés d'ici 2020.

La répartition de ce programme par filière technologique, se présente comme suit :

- Solaire Photovoltaïque : 13 575 MW
- Eolien : 5010 MW

- Solaire thermique : 2000 MW
- Biomasse : 1 000 MW
- Cogénération : 400 MW
- Géothermie : 15 MW

La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité.

Le volume de gaz naturel épargné par les 22 000 MW en renouvelables, atteindra environ 300 milliards de m³, soit un volume équivalant à 8 fois la consommation nationale de l'année 2014.

Conformément à la réglementation en vigueur, la réalisation du programme est ouverte aux investisseurs du secteur public et privé nationaux et étrangers.

La mise en œuvre de ce programme bénéficie de l'apport substantiel et multiforme de l'Etat qui intervient notamment à travers le Fonds National des Energies Renouvelables et Cogénération (FNERC), alimenté par un prélèvement de 1% de la redevance pétrolière.

Un mécanisme d'encouragement basé sur les tarifs d'achat garantis est mis en place par la réglementation. Ainsi, le producteur d'énergie renouvelable bénéficie de tarifs d'achat qui sont garantis pour une durée de 20 ans pour les installations en Photovoltaïque et en éolien.

Les filières ne bénéficiant pas des tarifs d'achat garantis seront financées par le FNERC à hauteur de 50% à 90% du coût d'investissement selon la technologie et la filière retenues.

Les retombées de ce programme seront très significatives en termes de création d'emplois, d'industrialisation, de développement technologique et d'acquisition de savoir-faire, contribuant ainsi à la croissance et à la modernisation économique du pays ainsi qu'à la préservation de l'environnement.

I.2 Perspectives d'investissement :

Les capacités en énergie renouvelables seront installées selon les spécificités de chaque région :

- Région du Sud, pour l'hybridation des centrales existantes et l'alimentation des sites épars compte tenu de la disponibilité des espaces et de l'important potentiel solaire et éolien qui privilégie ces régions ;
- Région des Hauts Plateaux pour leur potentiel d'ensoleillement et de vent avec possibilité d'acquisition des terrains ;
- Région du littoral selon la disponibilité des assiettes de terrain avec l'exploitation de tous les espaces tels que les toitures et terrasses des bâtiments et autres espaces non utilisés.

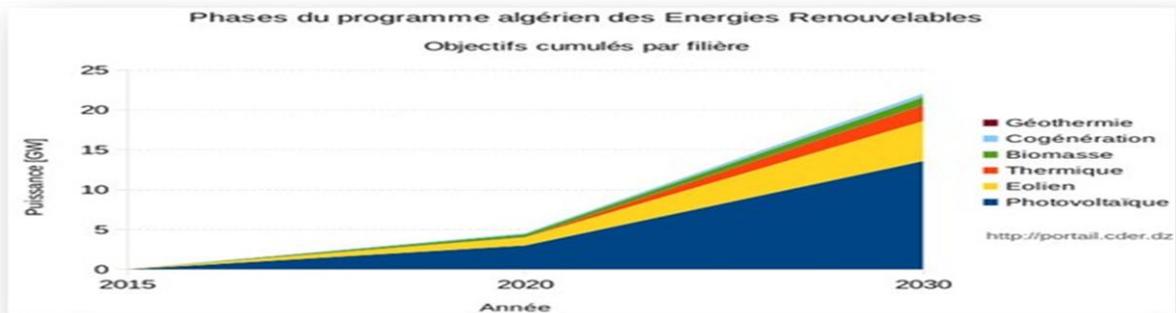


Figure I.1 : Phases du programme algérien des énergies renouvelables

Les besoins complémentaires pour d'autres domaines d'application sont intégrés dans la capacité totale du photovoltaïque, tels que le résidentiel, l'agriculture, le pompage, les ressources en eau, l'industrie, l'éclairage public et les services.

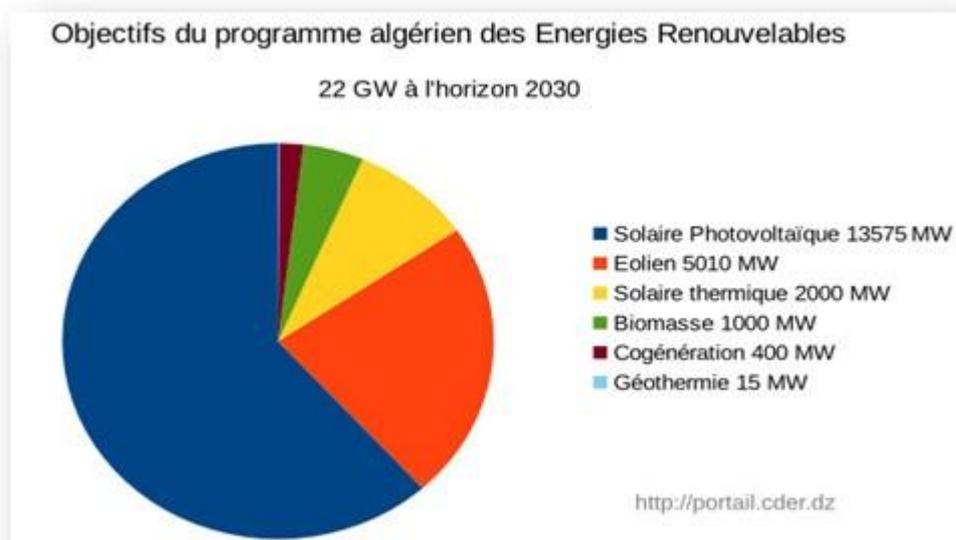


Figure I.2 : Objectifs du programme algérien des Energies renouvelables

Le programme de développement des énergies renouvelables se présente comme suit :

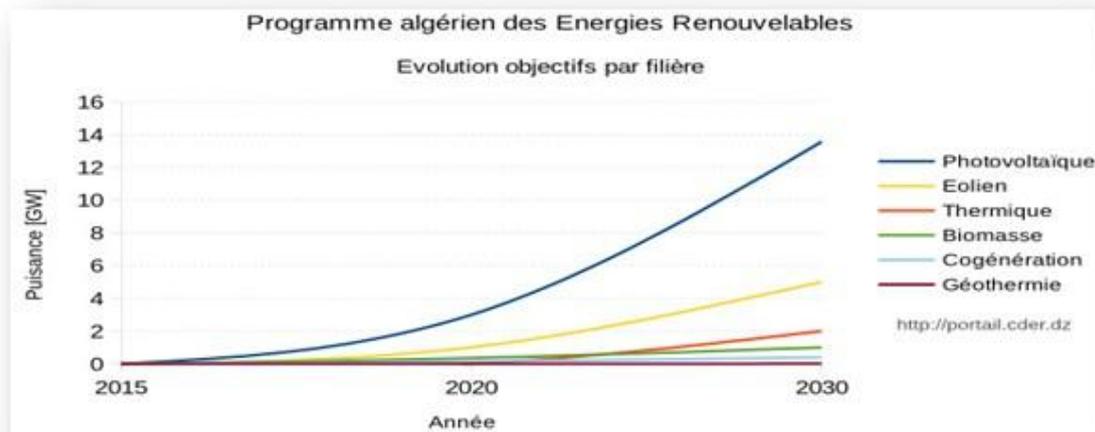


Figure I.3 : Le programme de développement des énergies renouvelables

I.3 Cadre juridique et mesures incitatives

L'adoption du cadre juridique favorable à la promotion des énergies renouvelables et à la réalisation d'infrastructures y afférentes est défini principalement à travers les mesures ci-après :

Consciente de l'intérêt grandissant des énergies renouvelables et de leurs enjeux, l'Algérie a intégré leur développement dans sa politique énergétique par l'adoption d'un cadre juridique favorable à leur promotion et à la réalisation d'infrastructures y afférentes.

Le développement des énergies renouvelables est encadré par un ensemble de textes législatifs

- La loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie;
- La loi n°02-01 du 5 février 2002, relative à l'électricité et la distribution publique du gaz par canalisations;
- La loi n° 04-09 du 14 août 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- Loi n° 11-11 du 18 juillet 2011 : portant loi de finances complémentaire pour 2011 a relevé le niveau de la redevance pétrolière qui alimente essentiellement le Fonds National pour les énergies renouvelables et la cogénération (FNER) de 0.5% à 1% et a étendu son champ d'application aux installations de cogénération ;
- Décret exécutif n°11-423 du 08 décembre 2011 : fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spécial n° 302 -131 intitulé "Fonds national pour les énergies renouvelables et la cogénération".

- Décret exécutif n°13-218 du juin 2013 : fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité.
- Décret exécutif n°13-424 du 18 décembre 2013 : modifiant et complétant le décret exécutif n° 05-495 du 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie.
- Arrêtés ministériels du 02 février 2014 : fixant les tarifs d'achat garantis pour la production d'électricité à partir d'installations utilisant la filière photovoltaïque et les conditions de leur application.
- Arrêtés ministériels du 02 février 2014 : fixant les tarifs d'achat garantis pour la production d'électricité à partir d'installations utilisant la filière éolienne et les conditions de leur application.

I.4 Mesures d'incitation et d'encouragement :

Les porteurs de projets dans le domaine des énergies renouvelables déclarés auprès de l'ANDI peuvent bénéficier des avantages accordés par l'ordonnance 01 -03 du 20 Août 2001 relative au développement de l'investissement.

Des avantages financiers, fiscaux et en matière de droits de douane peuvent être accordés pour les actions et projets qui concourent à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la promotion des énergies renouvelables.

En outre, ces actions et projets bénéficient des avantages prévus dans le cadre de la législation et la réglementation en matière de promotion des investissements et au bénéfice des activités déclarées prioritaires (loi N° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie).

De plus, la Loi n° 11-11 du 18 juillet 2011 portant loi de finances complémentaire pour 2011 a relevé le niveau de la redevance pétrolière qui alimente essentiellement le Fond National pour énergies renouvelables de 0.5% à 1% et a étendu son champ d'application aux installations de cogénération.

La réglementation en vigueur a également prévu un mécanisme d'encouragement basé sur les tarifs d'achat garantis, le producteur d'énergie renouvelable bénéficie ainsi de tarifs d'achat qui sont garantis pour une durée de 20 ans pour les installations en Photovoltaïque et en éolien.

Outre le cadre général régissant le développement de l'investissement dont le régime spécifique de la convention peut être ouvert à la promotion des énergies renouvelables, le cadre juridique en vigueur prévoit des soutiens directs et indirects aux énergies renouvelables.

Aussi et afin d'encourager et soutenir les industriels dans la réalisation de ce programme, il est prévu, entre autres, la réduction des droits de douane et de la TVA à l'importation pour les composants, matières premières et produits semi-finis utilisés dans la fabrication des

équipements en Algérie, dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

I.5 Autres mesures incitatives :

La politique volontariste de l'Algérie, dans la réalisation du programme de développement des énergies renouvelables se fera à travers l'octroi de subventions pour couvrir les surcoûts qu'il induit sur le système électrique national.

Mise en place d'un fonds national de maîtrise de l'énergie (FNME) pour assurer le financement de ces projets et octroyer des prêts non rémunérés et des garanties pour les emprunts effectués auprès des banques et des établissements financiers (loi N° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie).

I.6 LA Tarification de l'électricité :

I.6.1 Introduction :

* **SONELGAZ** est une entreprise qui s'est vu confier l'exercice le monopole de la production, du transport et de la distribution de l'électricité, du transport et de la distribution du gaz. A ce titre, SONELGAZ doit concilier deux objectifs :

1. La recherche de l'efficacité économique : il s'agit de satisfaire la demande de sa clientèle au moindre coût, sous contrainte de qualité de service

2. Le respect de ses contraintes budgétaires par un équilibre de son compte d'exploitation

I.6.2 LES PRINCIPES DE LA TARIFICATION DE L'ELECTRICITE :

La tarification doit tenir compte de deux réalités :

* L'électricité est un bien non stockable, dont la demande varie selon le moment de la journée (et/ou l'année). Ceci oblige l'Entreprise à assurer à tout instant l'équilibre offre - demande. Elle investie alors dans les capacités supplémentaires pour faire face à des pics de demandes concentrés sur de brèves périodes.

Ainsi, dans un souci d'efficacité, l'entreprise doit agir sur la demande et amener le client à étaler au maximum sa consommation d'énergie de façon à éviter des pointes trop marquées, trop coûteuses.

En renonçant à une unité supplémentaire d'énergie pendant les périodes les plus chargées, le client contribue à une minimisation des coûts pour l'entreprise et à satisfaire les besoins énergétiques des clients dont la consommation, pour des considérations d'usage, ne peut être déplacée.

L'un des moyens pour atteindre cet objectif est le prix.

Dans cette optique, la tarification est bâtie sur la structure des coûts. Ces derniers sont en fonction du niveau de tension auquel est raccordé le client (la fourniture distribuée en basse tension exige un volume d'équipement plus important que celle livrée en haute tension, du fait des transformations supplémentaires qu'elle doit subir avant sa forme finale d'utilisation) et de la période de consommation

Pour chacun des niveaux de tension, on a donc élaborée une série de tarifs présentés sous forme d'options, reflétant les coûts des kilowattheures desservis pendant telle ou telle période de la journée et orientant par la même le choix des consommateurs.

Le tarif le plus avantageux pour le client correspond au coût minimal pour la collectivité.

L'intérêt du consommateur étant d'optimiser sa facture son choix devra porter sur celui qui, à la fois l'avantage le mieux et minimise les coûts pour la collectivité. De par les gains que cela lui procure, et dans la limite de ses usages, il cherchera à effectuer des reports de consommations sur les heures les moins chargées.

Ainsi parce que le tarif incite le consommateur à utiliser ses équipements électriques du mieux de l'intérêt général. Il assure la cohérence entre la recherche de l'efficacité au niveau individuel et au niveau national.

C'est sur la base de ces principes (reflets des coûts /simplicité des tarifs incitative) le système tarifaire actuel de SONALGAZ a été élaboré et contient un nombre limité de tarifs.

Deux pour la haute tension quatre pour la moyenne tension et quatre pour la basse tension.

I.6.3.Présentation du système tarifaire de l'électricité :

I.6.3.1. Structure générale des tarifs :

L'ensemble des tarifs du système tarifaire est caractérisé par une unité de structure. Tous les tarifs sont basés sur une **seule formule polynôme (terme fixe, facturation de la puissance, facturation de l'énergie)**.

La structure générale des tarifs met en évidence trois termes

I.6.3.1.a. Redevance fixe :

Elle couvre les frais de gestion technique et commerciale entretien du raccordement au réseau entretien courant et vérification du comptage, relève et facturation.

I.6.3.1.b. Puissance mise a disposition :

C'est la puissance réservée par Sonelgaz en vertu d'un accord passé avec le client et que ce dernier peut appeler selon ses besoins. Elle correspond aux investissements consentis par Sonelgaz pour assure au client la possibilité d'appeler à son gré et à tout instant une puissance mobilisée pour lui.

La PMD est un terme révisable sous certaines conditions telles que définies par le cahier des clauses générales elle prend des valeurs normalisées.

Tableau I.1 : Valeurs normalisées de la PMD (en KW)

Valeurs de PMD		
50	3000	35 000
80	3500	40 000
120	4500	45 000
320	5000	50 000
500	7500	60 000
750	10 000	70 000
1000	15 000	80 000
1500	20 000	90 000
2000	25 000	100 000
2500	30 000	

I.6.3.1.c. Puissance maximale absorbée

La facturation de la PMA incite le client à étaler sa consommation et à éviter les appels de puissance à la pointe. La PMA ne doit pas dépasser la PMD.

I.6.3.2. Facturation de l'énergie réactive

L'excédent d'énergie réactive causant des perturbations dans le réseau, la consommation d'énergie réactive donne lieu à une bonification si le rapport énergie réactive sur énergie active est inférieur à 50 % et à un malus dans le cas contraire.

I.6.4. Les périodes tarifaires

I.6.4.1. Postes Horaires

Les prix de l'énergie sont différenciés selon les heures d'utilisation. Les heures de la journée ont été regroupées en 3 postes horaires, de manière à ce que les conditions de couverture de la charge soient identiques à l'intérieur d'un même poste.

On distingue trois postes horaires définis sur la pose de l'heure l'égale comme suit.

Pointe : Tous les jours de l'année de 17h à 21h (correspond aux heures les plus chargées).

Heures plaintes : Tous les jours de l'année de 6h à 17h et de 21h à 22h30 (heures moyennement chargées)

Heures creuses : Tous les jours de l'année de 22h30 à 6h (heures faiblement chargées).

I.6.4.2. Périodes tarifaires

Aux différents poste horaires définis ci-dessus, correspondent, selon le tarif, six périodes tarifaires (pointe, heures pleines, heures creuses, hors pointe, jour, poste unique).

La différenciation des prix de l'énergie selon les six périodes tarifaires donne lieu à quatre types de tarifs.

Tableau I.2 : périodes tarifaires

Triple tarif	Heures creuses (22h 30 → 6h) (7h 30/jour)	Heures pleines (6h → 17h) (21h → 22h30)	Heures pointes (17h → 21h) (4h/jour)
Double tarif Hors pointe/Pointe	Heures hors pointe (21h → 17h) (20h/jour)		Heures pointe (17h → 21h) (4h/jour)
Tarif Nuit/Jour	Nuit (22h 30 → 6h) (7h 30/jour)	Jour (6h → 22h 30) (16h 30 /jour)	
Simple tarif Unique	Poste unique (24h/jour)		

I.6.5. Présentation des tarifs

Les tarifs d'électricité actuellement en vigueur sont classés en trois séries ou chaque série regroupe les tarifs propres à un niveau de tension auquel le client est raccordé.

- * **Tarifs série 30** : abonnés Haute Tension.
- * **Tarifs série 40** : abonnés Moyenne Tension.
- * **Tarifs série 50** : abonnés Basse Tension.

Tableau I.3 : Domaine de tension et Tarifs

Domaines de tension	Courant alternatif (volt efficace)	Tarifs	Série de tarif
HTB (Haute Tension)	60KV, 90KV, 220 KV	31,32	30
HTA (Moyenne Tension)	5,5Kv, 10KV, 22KV, 30KV	41, 42, 43, 44	40
BTB	500V < U ≤ 1Kv	51, 52, 53, 54	50
BTA	50 V < U ≤ 500v ou (220V et 400V)		

Tableau I.4 : Descriptions des tarifs

TARIFS	DESCRIPTIONS
--------	--------------

HAUTE TENSION.

31	3 - Périodes Tarifaires (Pointe. Heures Pleines. Heures Creuses)
32	1 - seule Période Tarifaire (Poste Unique). Abonnés à très longues utilisations de la Puissance mise à disposition.

MOYENNE TENSION.

41	3 - Périodes Tarifaires (Pointe. Heures Pleines. Heures Creuses).
42	2 - Périodes Tarifaires (Pointe. Hors Pointe).
43	2 - Périodes Tarifaires (Jour. Nuit).
44	1 - seule Période Tarifaire (Poste Unique).

BASSE TENSION.

51	3 - Périodes Tarifaires (Pointe. Heures Pleines. Heures Creuses).
52	2 - Périodes Tarifaires (Pointe. Hors Pointe).
53	2 - Périodes Tarifaires (Jour. Nuit).
54 – 1	1 seule Période Tarifaire (Poste Unique). Abonnés ménages consommant moins de 500 kWh/an.
54 – 2	1 seule Période Tarifaire (Poste Unique). Abonnés ménages et non ménages consommant plus de 500 kWh/an.

Tableau I.5 : Présentation des tarifs et leur prix

ELECTRICITE							
Code Tarif	Redevance Fixe (DA/Mois)	PMD	MPA	Energie Active		Energie réactive (CDA/Kvarh)	
		DA/Kw/Mois		(CDA / kWh)		Malus	Bonus
31	505413.28	37.93	189.46	Pointe	660.85	31.01	6.20
				pleine	136.62		
				Nuit	59.03		
32	505413.28	100.94	505.38	Unique	136.94	31.01	6.20
41	38673.35	25,85	116,15	Pointe	872,02	45,53	9,11
				pleine	193,76		
				Nuit	102,40		
42	515,65	38,70	180,58	Pointe	872,02	45,53	9,11
				Hors Pointe	180,64		
43	515,65	38,70	154.56	Nuit	102,40	45,53	9,11
				Jour	428,30		
44	515 ,65	38,70	180,58	Unique	375,62	45,53	9,11
51	286,44	29,85	...	Pointe	811.47
				pleine	216.45		
				Nuit	120.50		
52	66,4	29,85	...	Pointe	811.47
				Hors Pointe	178.07		
53	66,4	14,81	...	Nuit	120.50
				Jour	486.98		
54	...	4,37	...	Unique	417,89

I.6.6. Calcule des pertes à vide et en charge

Les pertes à vide et en charge sont calculées en appliquant les coefficients respectifs pour chaque transformateur. Ces coefficients sont préalablement définis dans la police d'abonnement

Tableau I.6 : les puissances en fonction de type de pertes

Puissance	PERTES ACTIVES		PERTE REACTIVES	
	Avide en KWh/h	EN CHARGE %	Avide en KVAR h/h	EN CHARGE %
25	0,160	3,20	1,10	4,00
40	0,220	2,90	1,60	4,00
50	0,425	2,30	3,00	4,00
63	0,300	2,60	2,10	4,00
100	0,425	2,30	3,00	4,00
160	0,600	2,10	4,20	4,00
200	0,720	1,90	4,60	4,00
250	0,900	1,70	6,40	4,00
315	1,05	1,60	6,80	4,00
400	1,300	1,50	8,30	4,00
500	1,530	1,50	9,60	4,00
630	1,800	1,50	11,50	4,00

I.6.7. Formule Tarifaire générale :

L'expression générale de la structure tarifaire est un polynôme comportant trois parties soit :

- un terme constant
- un terme qui facture la puissance
- un terme qui facture l'énergie
-

$$R = a + c \times Pc + d \times Pa + \sum eh \times Eh + g \times (W - r \times E)$$

Où

R : Montant mensuel de la facture (DA/mois)

a : Redevance fixe (DA/ mois)

Pc Puissance mise à disposition du client et qu'il peut appeler suivant ses besoins elle est exprimée en KW

Pa – Puissance maximale absorbée en cours de la période de facturation mesurée par un appareil indicateur de maximum avec remise à zéro à chaque relève. Elle est exprimée en KW.

C, d Prix de facturation de la puissance mise à disposition et de la puissance maximale absorbée (DA/kW/mois).

E : énergie consommée au cours du mois (kWh/mois)

Eh : énergie consommée au cours du mois dans le poste horaire h ($E = \sum E_h$)

eh : Prix de l'énergie par poste horaire h (cDA/kWh)

W : Energie réactive consommée au cours du mois (kVarh/mois)

G : Prix de l'énergie réactive (cDa/kVarh)

r : concerne la facturation de l'énergie réactive : valeur du rapport $\text{tg}\varphi=W/E$ au delà duquel il y a majoration et en deçà bonification. On prend $r = 0,5$ ce qui correspond à un $\text{cons}\varphi$ de 0,894.

CONCLUSION

Dans le présent chapitre l'objectif assigné au système tarifaire est double

1. Assurer les volumes de recettes imposés par les exigences du développement équilibré et de gestion saine de l'Entreprise.
2. Orienter le choix des consommateurs, en concordance avec les options nationales en matière de développement et de politique énergétique et inciter à la minimisation des coûts et à l'efficacité.

Les tarifs proposés reflètent la structure et le niveau des coûts, en faisant supporter à chaque catégorie de consommateurs les dépenses qu'elle occasionne à la collectivité. Les prix des fournitures ont été déterminés par niveau de pression, de manière à ne répercuter les coûts de réseau qu'aux seuls clients concernés.

Les tarifs ne comportent aucune différenciation régionale, ceci conformément aux options du pays en matière de développement équilibré des régions.

CHAPITRE II
Généralités sur les turbines

Introduction

Les roues hydrauliques ont animé pendant longtemps les moulins à céréales, mais aussi des installations artisanales ou industrielles. L'invention de la turbine hydraulique puis de l'alternateur ont ouvert une voie vers l'hydroélectricité qui constitue la source d'énergie propre la plus utilisée dans le monde.

Le principe consiste à créer un réservoir d'eau en barrant le cours d'une rivière, et à utiliser l'énergie potentielle de l'eau accumulée. Suivant la hauteur de chute, on distingue des centrales de haute chute, de moyenne chute, et les usines au fil de l'eau.

Tableau II. 1: Puissance installée des énergies renouvelables en France (2014).

Production électrique (TW)	
Hydroélectrique	68.4
Energie éolienne	19.1
Biomasse	1.6
Géothermie	1.8
Photovoltaïque	6.6
Centrales solaires thermiques	0.8
Energie des marées	0.5
Total production électrique	98.8

Si la production d'hydroélectricité a l'avantage de ne pas dégager de gaz à effet de serre, les grands barrages présentent certains désavantages environnementaux : Inondation des terres sous le niveau du réservoir produisant l'électricité.

Les turbines hydrauliques sont traditionnellement classifiées en deux groupes

- les turbines à action (Pelton)
- les turbines à réaction (Francis, Kaplan, hélice).
- La turbine Banki 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.

II.1. Turbines hydrauliques

Une turbine hydraulique est un dispositif mécanique qui sert à transformer l'énergie

potentielle associée à une hauteur en travail utile (énergie mécanique). Les turbines hydrauliques modernes sont le résultat de plusieurs années de développement progressif, qui ont abouti à l'élaboration de très grandes unités (plus de 800 MW de capacité) avec des rendements qui sont parfois de plus de 95%.

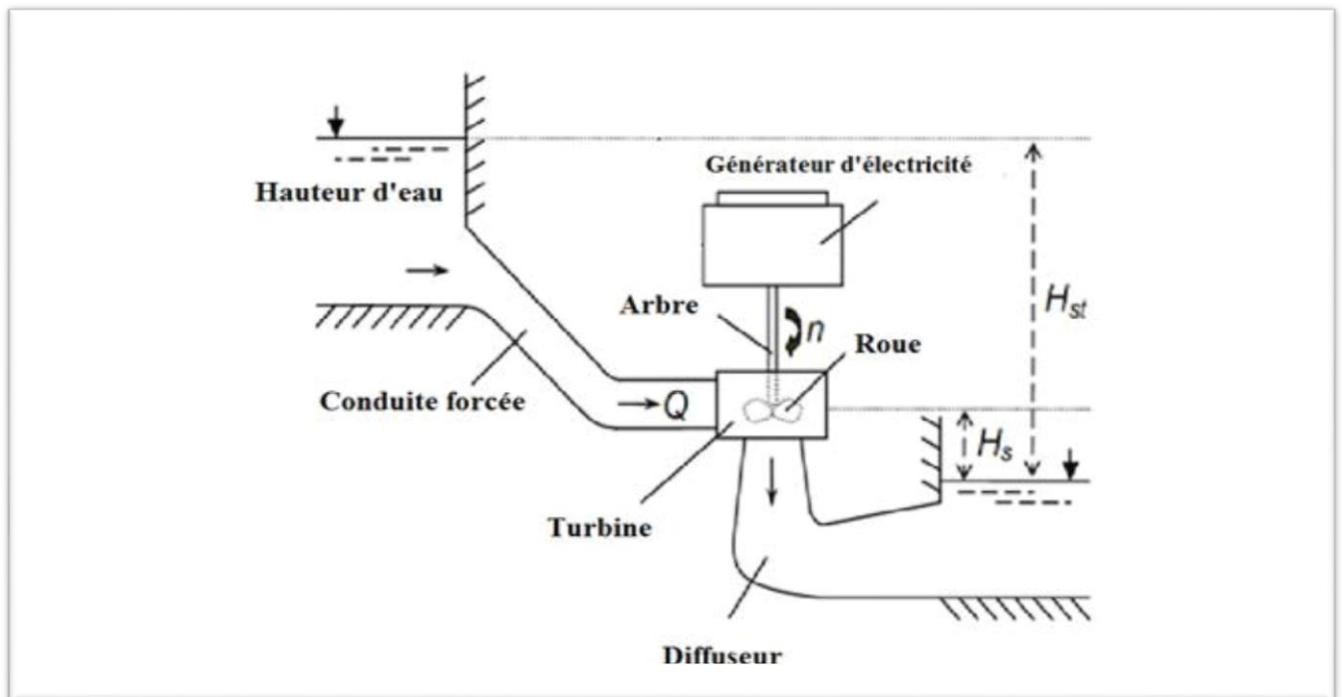


Figure II. 1: Centrale hydroélectrique avec une turbine à réaction

Il existe plusieurs types de turbines hydrauliques, regroupés en deux catégories :

II.1.1. Turbine à action

La turbine à action (Pelton) est caractérisée par le fait que l'énergie à disposition de l'aufrage est entièrement sous forme d'énergie cinétique. L'échange d'énergie entre l'eau et l'aufrage a lieu à pression constante, généralement à pression atmosphérique. La roue de la turbine est dénoyée et tourne dans l'air.



Figure II. 2: Roue d'une turbine Pelton

II.1.1.1. 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.

La figure II.3. Présente schématiquement une turbine à action et ses paramètres de fonctionnement.

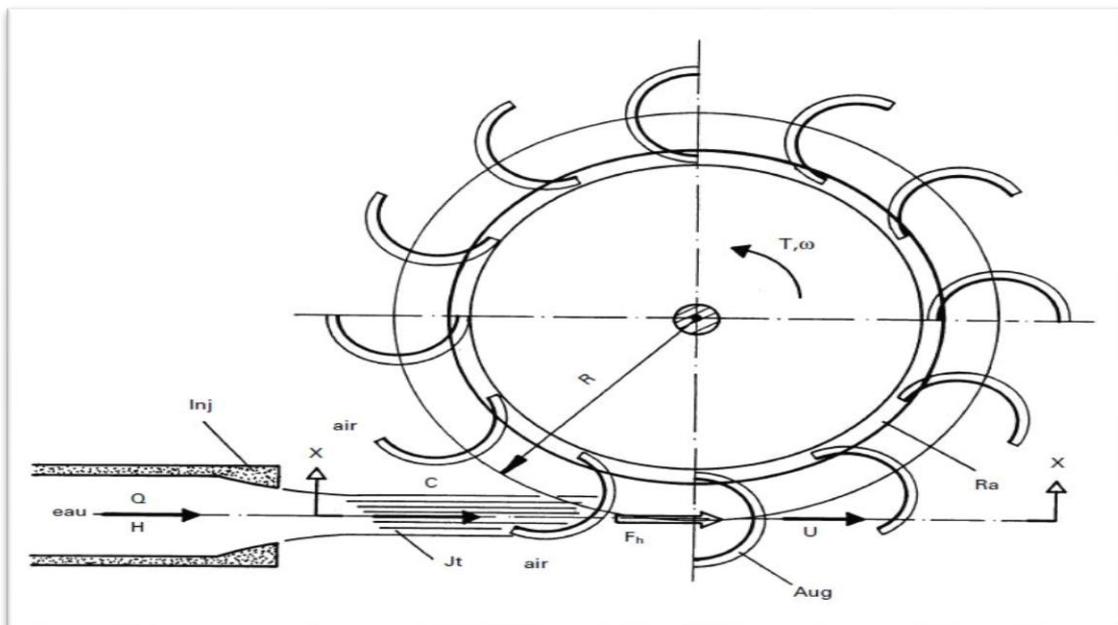


Figure II.3. Schéma d'une turbine à action avec ses paramètres de fonctionnement

II.1.1.2. 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.

Etant donné que la roue de la turbine tourne dans l'air, les joints d'arbre n'ont pas à être étanches à la pression, mais doivent simplement éviter que l'eau ne sorte de la bêche. Ils sont constitués par des disques qui centrifugent les gouttelettes d'eau infiltrées dans un boîtier relié à la sortie de la turbine.

La figure II.4. donne une vue schématique d'une roue Pelton avec deux injecteurs. Les paramètres principaux, permettant de déterminer le diamètre de la roue et le nombre de jets, y sont indiqués.

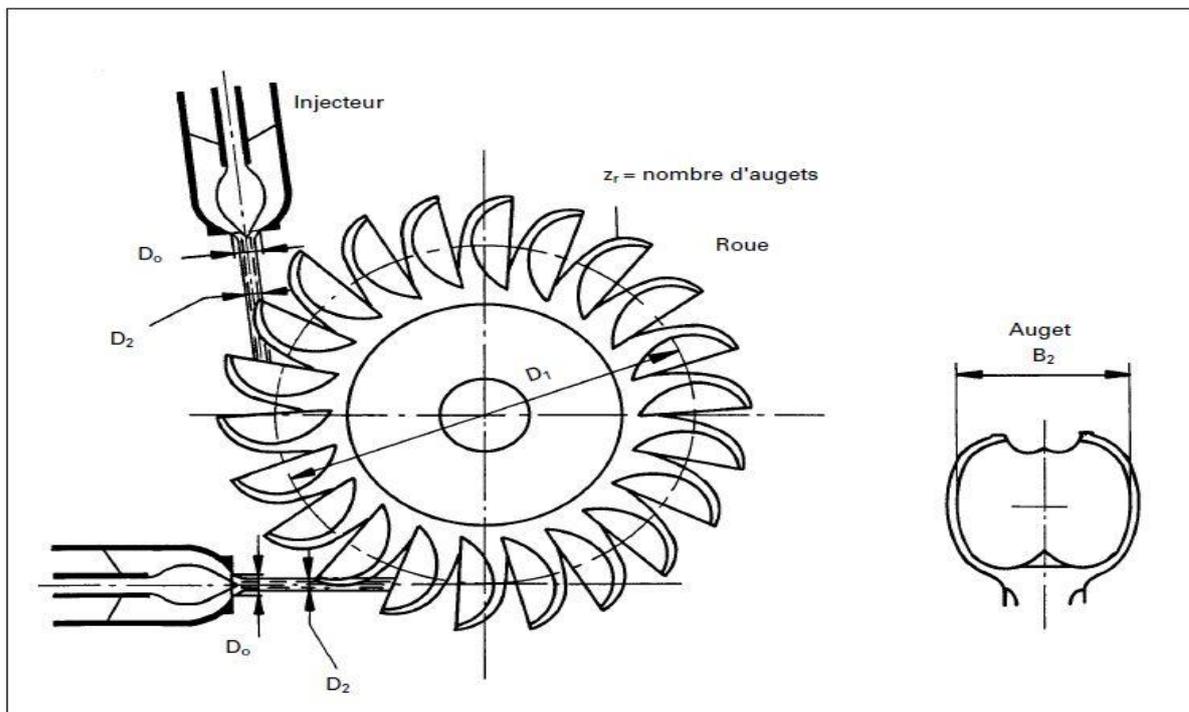


Figure II.4. Vue schématique d'une roue Pelton à deux jets et paramètres principaux

II.1.2. Turbines à réaction

Est une machine fermée (moyée) 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 : création d'un tourbillon au moyen d'une bêche spirale, d'aubages directeur, ou les deux à la fois. Récupération du mouvement circulaire du tourbillon par les aubages d'une roue en rotation Qui dévient les filets d'eau pour leur donner une direction parallèle à l'axe de rotation.



Figure II.5 : Turbine Francis

Les turbines à réaction fonctionnent complètement immergées. Le transfert d'énergie à la turbine dépend des conditions de l'écoulement avant et après la roue, d'autre part les turbines à réaction les plus fréquemment rencontrées sont les turbines Francis et les turbines axiales, c'est le cas des turbines Kaplan.



Figure II.6. Turbine Kaplan

II.1.2.1.Principe de fonctionnement

Deux principes sont à la base de son fonctionnement :

1. la création d'un tourbillon au moyen d'une bêche spirale, d'aubages directeurs, ou les deux à la fois

2. la récupération du mouvement circulaire du tourbillon par les aubages d'une roue en rotation qui dévient les filets d'eau pour leur donner une direction parallèle à l'axe de rotation.

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

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

La figure II.7 présente une image schématique d'une turbine à réaction.

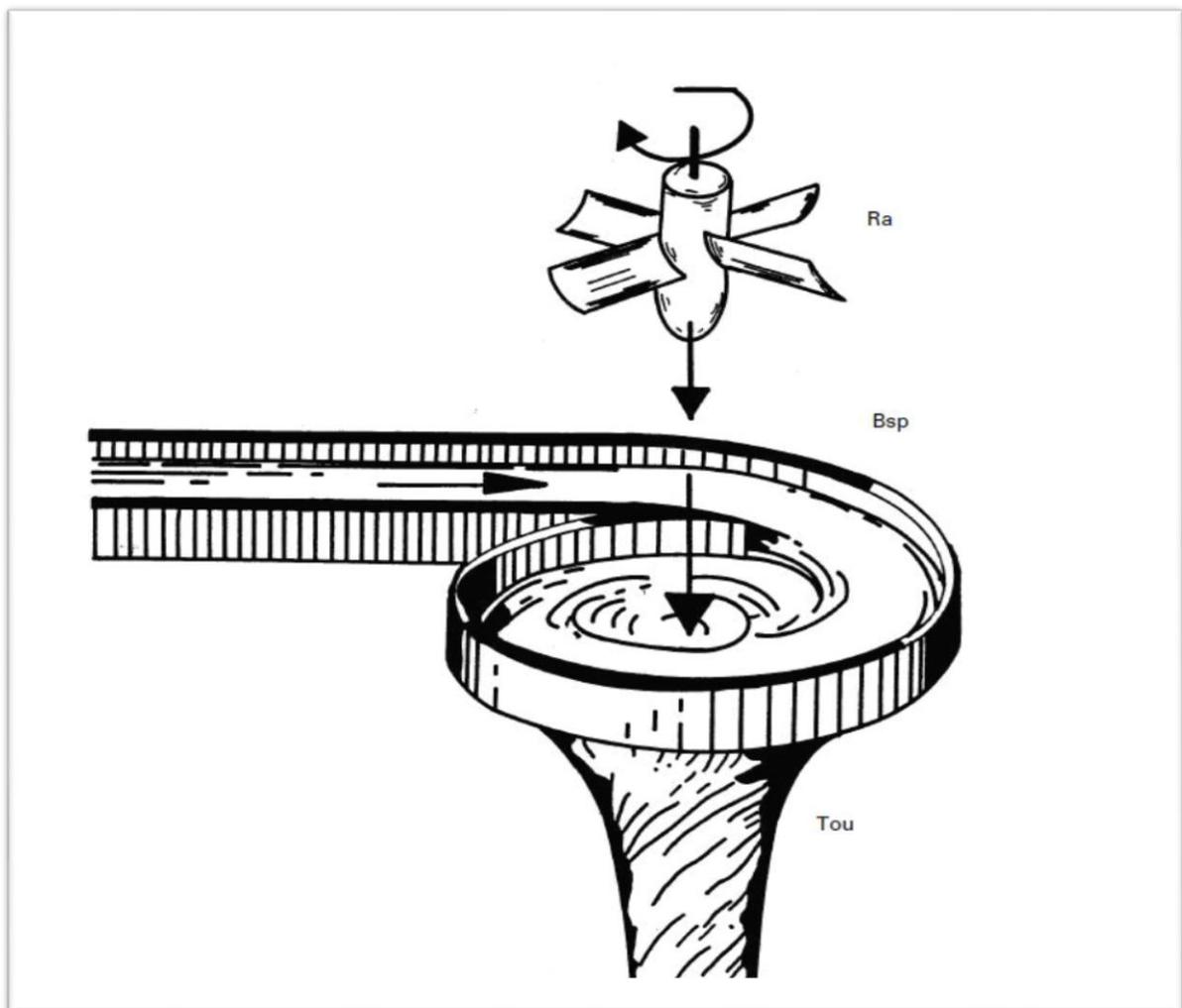


Figure II.7. Image schématique d'une turbine à réaction

II.1.2.2. Turbine Francis

Les principaux d'une turbine Francis sont montrés sur la figure II.8.a pour une machine sans bêche spirale, installée dans une chambre d'eau ouverte. Ce cas se présente fréquemment dans des microcentrales anciennes.

La partie fixe de la turbine comprend l'anneau d'entretoises, destiné à recevoir le distributeur et le support du palier de la turbine, et qui est lui-même directement posé sur l'aspirateur scellé dans la dalle en béton.

Le distributeur, qui sert à régler le débit, est constitué par une série d'aubes rotatives, entraînées par des biellettes liées à l'anneau de vannage. Celui-ci est mis en rotation par la tige de commande du distributeur qui l'entraîne par deux tirants.

La tige de commande peut être manœuvrée à la main (anciennes installations) ou par un moteur hydraulique ou électrique (installations automatiques).

La roue de la turbine est placée à l'intérieur du distributeur. L'arbre qui la relie à la génératrice ou à un multiplicateur de vitesse est guidé par le palier principal de la turbine.

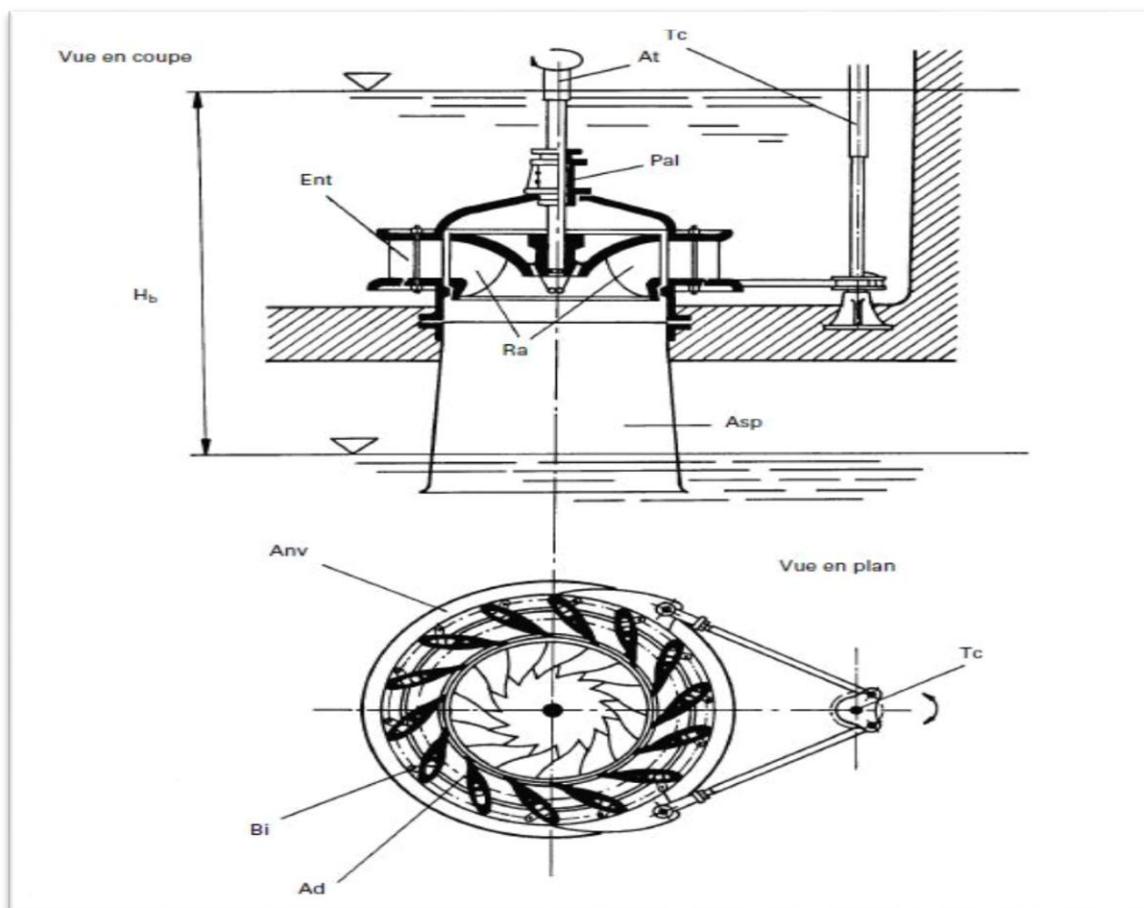


Figure II.8. Composants principaux d'une turbine Francis

II.1.2.3 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).

On distingue :

- 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 :

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.

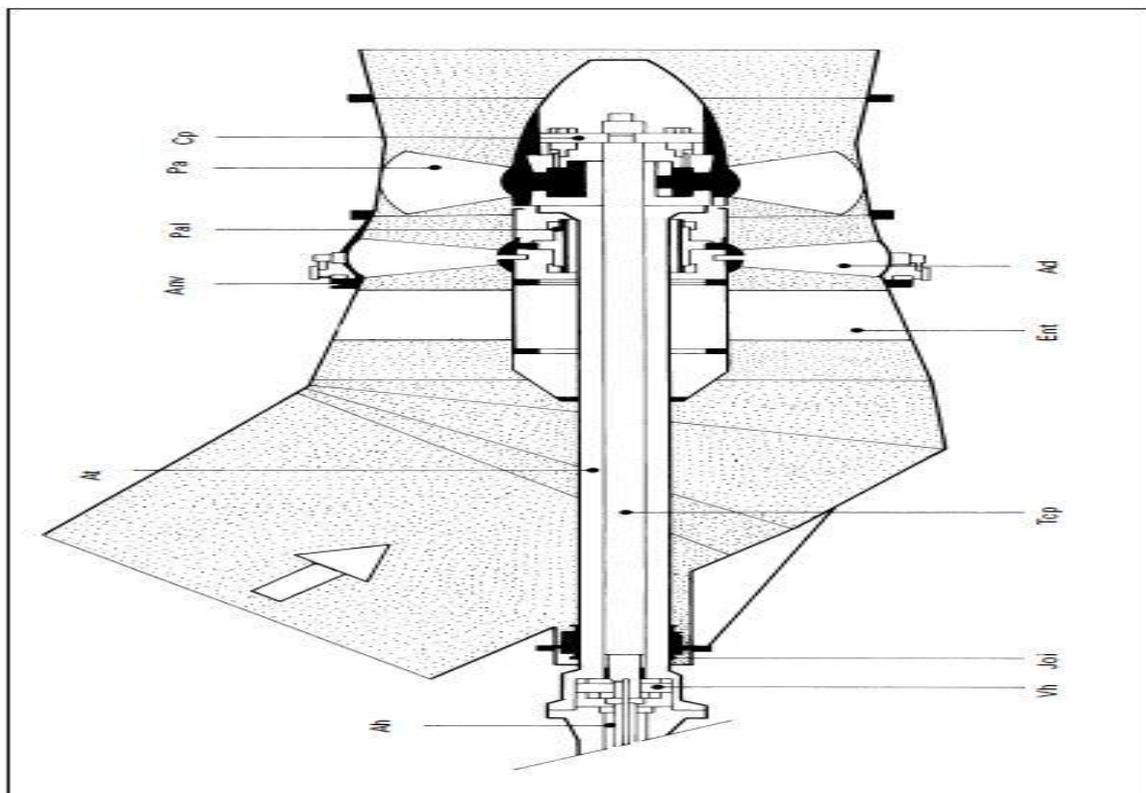


Figure II.9. Composants principaux d'une turbine Kaplan

Ah: alimentation huile

Ent: entretoises

Vh: vérin de commande de la roue

Anv: anneau de vannage

Joi: joint d'arbre

Ad: aubage du distributeur

Tcp: tige de commande des pales de la roue

Pal : palier

At : arbre turbine

Pa: pale mobile de la roue

Cp: commande des pales de la roue

II.1.3. Résumé des principaux types turbines et de leur domaine d'application

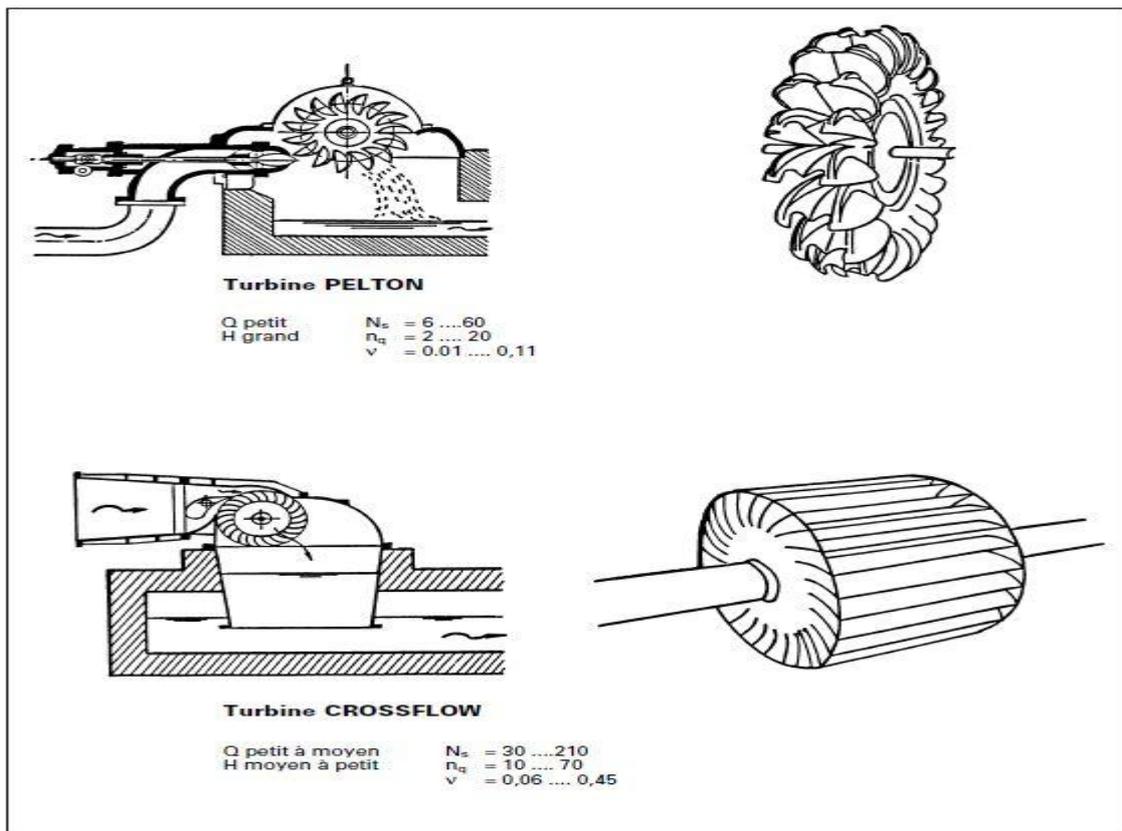


Figure II.10. : Turbines à action

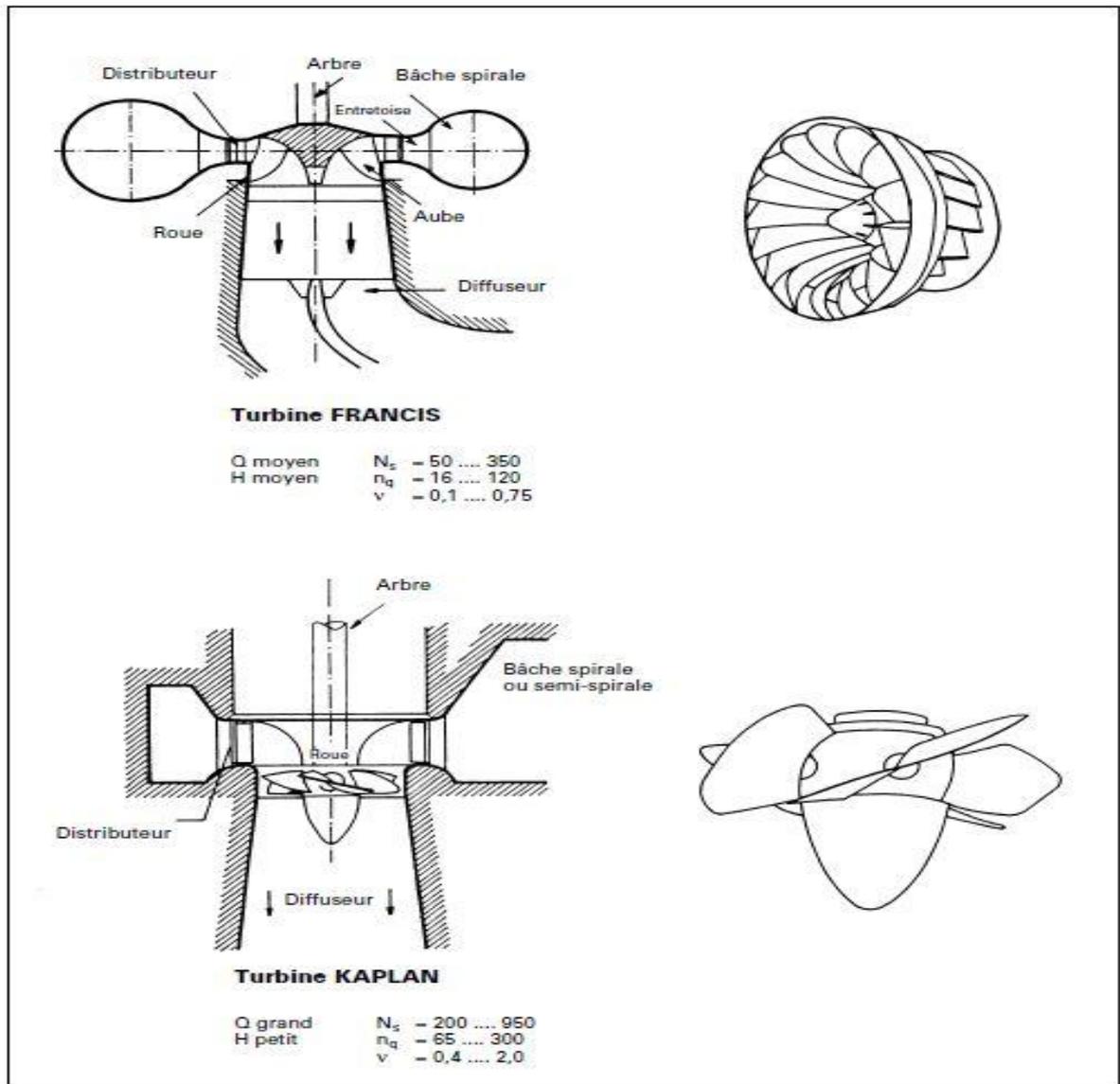


Figure II.11. Turbines à réaction

II.1.4. 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.

Il est important de noter que le point de fonctionnement optimal d'une pompe utilisée comme turbine est notablement différent de celui de la même machine utilisée comme pompe.

La chute nette optimale en régime turbine est environ 1.3 à 1.6 fois celle de la pompe.

II.1.5. La turbine Banki

II.1.5.1. Historique

La turbine Banki est apparue au début du vingtième siècle, en Europe. En même temps que les turbines modernes. Comme la turbine Kaplan. Le premier brevet relatif à la turbine Banki date de 1905. Il est dû à A. G. M. Michel, un Australien.

Sous l'effet des travaux de Donat Banki, en l'honneur duquel on nomme souvent la machine. Une première théorie scientifique pour la conception de la turbine. Dans une série d'articles publiés entre 1912 et 1918 [1], qui sert encore aujourd'hui dans la recherche et la pratique.

II.1.5.2. Définition

La turbine Banki est une turbine hydraulique à écoulement radial. Dont le rotor de forme cylindrique permet une double traversée de l'eau dans l'aubage.

Depuis son invention au début du siècle, elle est utilisée exclusivement dans les installations de petite puissance, c'est-à-dire de moins d'un mégawatt. Vraisemblablement en raison de cet usage exclusif, en même temps qu'en raison du rendement plus faible qu'elle atteint. Elle a reçu relativement peu d'attention des chercheurs depuis son apparition.

II.1.5.3. Description de la turbine

Un schéma montrant les principales pièces d'une turbine Banki est montré à la figure II.12, Il s'agit d'un modèle Ossberger.

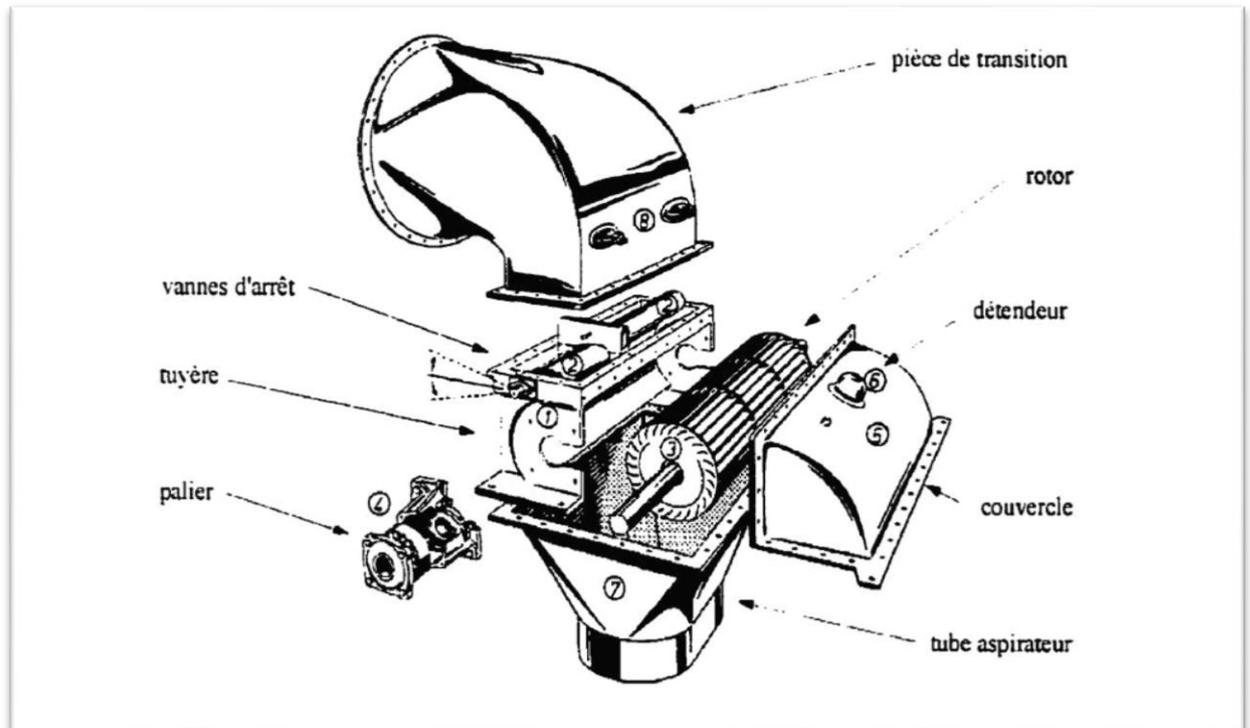


Figure II.12. Vue éclatée d'une turbine Banki (Ossberger)

Le rotor est de forme cylindrique. Une série d'aubes maintenues par des plaques circulaires aux extrémités forme une cage cylindrique. Ces plaques sont fixées soit à des paliers. Soit à un arbre qui traverse alors au centre du rotor. La tuyère amène un jet d'eau rectangulaire au rotor. Elle ne couvre qu'une partie seulement de la circonférence du rotor, en général de 60' à 120"selon les conditions d'opération. Une pièce de transition est nécessaire pour raccorder la tuyère, de section rectangulaire, à la conduite d'amenée circulaire.

L'utilisation d'un aspirateur est apparue à la fin des années '50. Utilisé avec un couvercle .Il permet d'augmenter la charge disponible. En abaissant la pression à la sortie de la tuyère. Sa présence nécessite en général l'ajout d'un détendeur d'air. Qui sert à contrôler la hauteur d'eau dans l'aspirateur.

II.1.5.4.Principales difficultés envisagées

L'écoulement dans la turbine Banki présente de nombreuses difficultés dans le développement d'un modèle mathématique qui puisse le décrire adéquatement. Il est schématisé à la figure II.13.

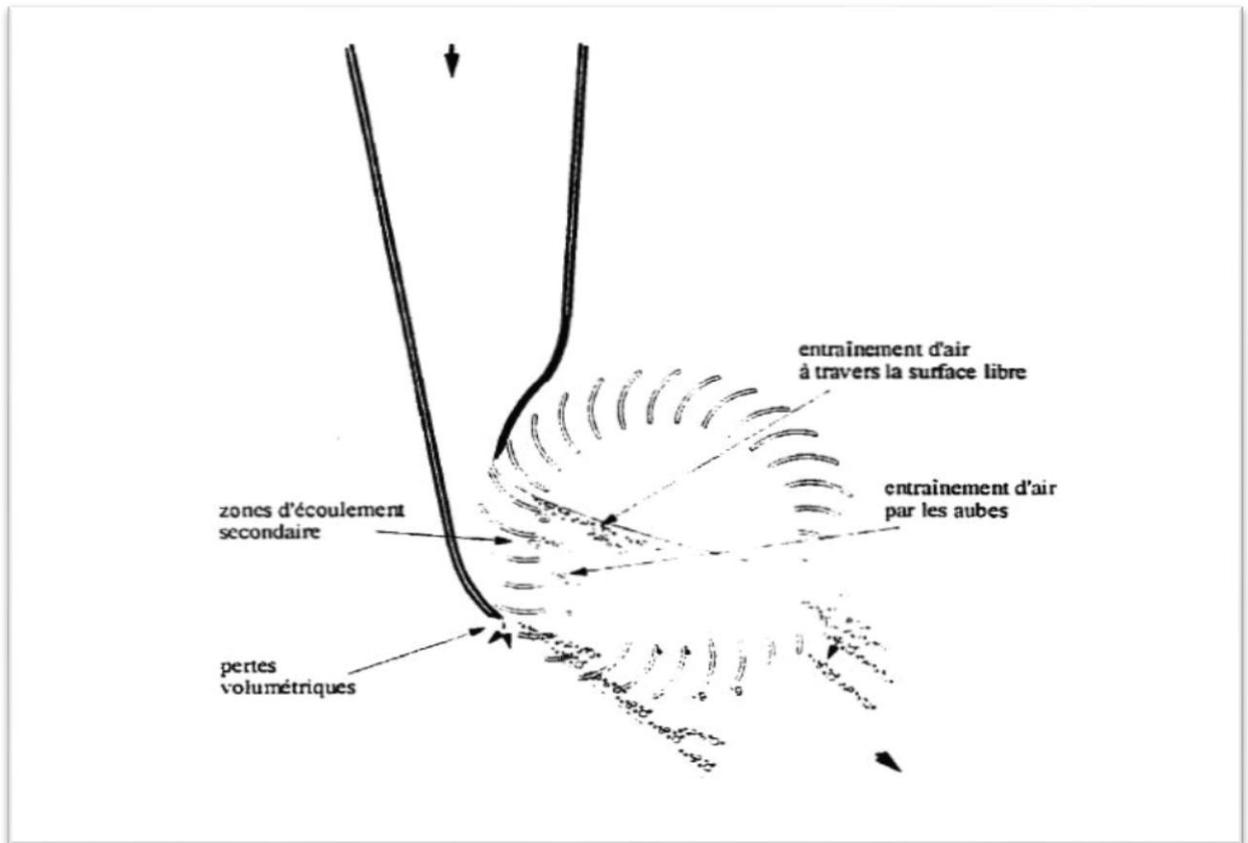


Figure II.13. Caractéristique des l'écoulement

Il y a d'abord des zones, près des aubes situées dans le jet près desquelles se forme une couche limite et où la viscosité est un facteur important. Des zones d'écoulement secondaire peuvent même apparaître. Il y a ensuite un important entrainement d'air dans la machine, d'une part, parce que l'air entre à travers la surface libre du jet turbulent qui traverse la roue.

Pour réduire cette complexité. Seule une symétrie plane peut être invoquée. Elle ne permet toutefois pas de réduire l'écoulement à une portion réduite qui puisse être étudiée avec une certaine utilité, comme on peut étudier une portion radiale de la roue d'autres types de turbine, comme la Francis ou la Kaplan. l'écoulement doit être étudié dans son ensemble si on ne veut pas être obligé de poser des hypothèses trop grossières sur les conditions aux frontières du domaine de calcul.

Enfin, l'écoulement dans la turbine Banki est essentiellement un jet complexe.

Conclusion

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

donc utile d'établir le plus exactement possible les conditions d'exploitation, en gardant en mémoire qu'une turbine à réaction, de type Francis ou Kaplan, S'adapte mieux à des fortes variations de chute relative qu'une turbine à action Palton ou Crossflow.

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE III
Le dessalement des eaux de mer

Introduction :

Ce chapitre a pour but de définir le dessalement des eaux de mer et ces procédés existants. La description de la zone d'étude la station de dessalement de Palm Beach dans le littoral algérois.

III.1. Définition de dessalement des eaux de mer :

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale.

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g/l, valeur considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Mais elle peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques. Mer Méditerranée 36 à 39 g/l, Mer Rouge \approx 40 g/l, Mer Morte 270 g/l, Golfe arabo-persique 40 à 70 g/l.

III.2. Etapes de dessalement des eaux de mer :

Quel que soit le procédé de dessalement, les étapes de dessalement sont les quatre suivantes :

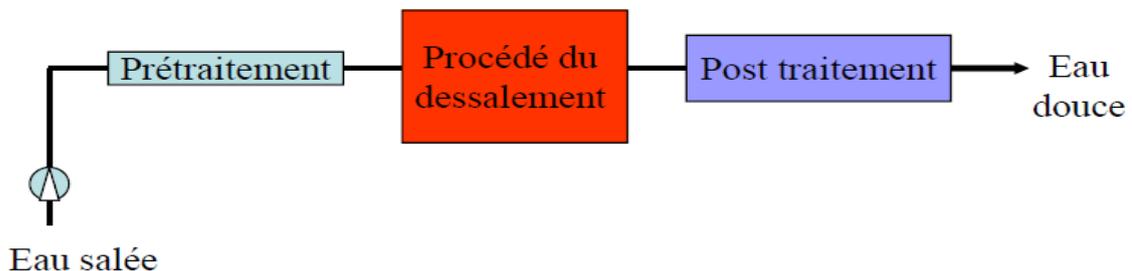


Figure III.1: Schéma général d'une installation de dessalement

III.2.1. Captage d'eaux de mer : elle consiste de pomper de l'eau de la mer vers la station de dessalement ; cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Dans cette étape on utilise deux types de technologie :

III.2.1.1. Prise directe en mer : elle est faite en pleine mer à surface par des canaux, des conduites, des siphons, ou des canaux ensouillés.

Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants.

Ce type de captage sensible aux matières et organismes en suspension et en flottation.

III.2.1.2. Prise indirecte en mer : par forages côtiers soit verticaux (des puits), soit des drains ou des galeries horizontales.

Ce type de captage donne une eau de très bonne qualité (faible concentration en matières organiques et en suspensions), ne nécessite pas un prétraitement important.

III.2.2. Prétraitement :

Les étapes de prétraitement de l'eau de mer est absolument nécessaire pour améliorer la qualité de l'eau d'alimentation surtout dans un système d'osmose inverse afin de protéger les membranes. Les procédés de prétraitement peuventdiviser en deux catégories :

III.2.2.1. Le prétraitement physique : à pour rôle essentiel de fournir une eau d'alimentation présentant la turbidité la plus faible possible. Il inclut les pré-filtres mécaniques, les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire.

a. La filtration mécanique : pour une alimentation par prise directe en mer il convient d'éliminer toutes les matières grossières avant quelle pénètrent dans le système, pour faire, il faut équiper la conduite de prise par une crépine.

b. La filtration : est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension ainsi retenus. Un milieu poreux représente un ensemble de grains ou d'agrégats autour desquels des espaces vides, appelés pores, sont interconnectés ou non. Le matériau doit être perméable à un écoulement de fluide.

c. La décantation : on l'utilise pratiquement dans toutes les usines de traitement des eaux (superficielles ou de mer) et d'épuration. Ce procédé a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau.

III.2.2.2. Le prétraitement chimique : à pour but essentiel de protéger efficacement les membranes contre :

- ✓ Le colmatage par les matières biologiques ;
- ✓ L'entartage par précipitation et dépôt de sels ;
- ✓ Leur dégradation.

a. Coagulation et floculation : cette opération à pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis formation des floccs par absorption. La coagulation permet de favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant les forces de répulsion électrostatique (liées aux charges superficielles). La floculation consiste à agglomérer ces particules en micro-floccs puis en floccs plus volumineux décantables. Les substances les plus couramment utilisées sont :

- pour la coagulation : la chaux, l'alun, le sulfate ferrique et le chlorure ferrique,
- pour la floculation : les polymères organiques à longues chaînes de masse molaire élevée.

b. Désinfection : à pour but d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau afin d'empêcher le développement de maladies hydriques. Le principe est de mettre un désinfectant (en eau potable on utilise le chlore et l'ozone généralement) à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée.

c. Microfiltration : il consiste à éliminer d'un fluide les particules dont les dimensions sont comprises entre 0.05 et 10 μm .

III.2.3. Le procédé de dessalement lui-même : qui peut relever de deux principes généraux de la chimie. Certaines usines exploitent des **procédés thermiques** (congélation, distillation). Les autres ont recours aux **procédés utilisant des membranes** (osmose inverse, électrodialyse).

III.2.4. Le poste traitement : avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite.

A l'issue de ces quatre étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement. Elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sel par litre.

III.3. Les différents procédés de dessalement des eaux de mer :

III.3.1. Procédé à membranes :

III.3.1.1. Osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Ce transfert continue jusqu'à ce que le système soit en équilibre.

L'osmose est réversible à condition de fournir de l'énergie, en appliquant une pression supérieure à la pression osmotique du côté de la solution la plus concentrée on inverse le flux : l'eau brute passe alors à travers les membranes qui retiennent les sels et les contaminants (figure) : c'est le principe d'osmose inverse.

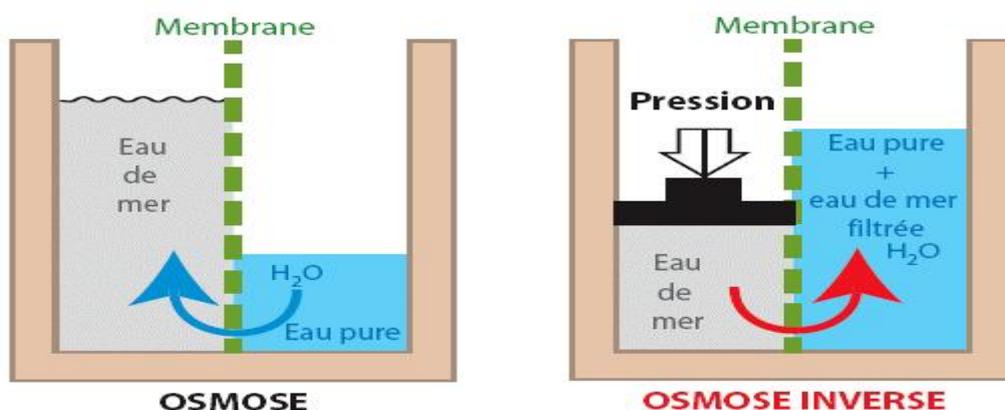


Figure III.2 : Principe d'osmose inverse

III.3.1.2. Electrolyse :

Est un procédé chimique qui permet de séparer les ions Na^+ et les ions Cl^- contenus dans une solution salée afin de ne conserver que les molécules d'eau. Un électro dialyseur est composé de plusieurs compartiments séparés alternativement par des membranes anioniques ou cationiques et à chaque extrémité du système on dispose une cathode et une anode. Une membrane anionique ne laisse passer que les anions, c'est-à-dire les ions Cl^- , et une membrane cationique ne laisse passer que les cations, c'est-à-dire les ions Na^+ . Le transfert d'un ion à travers une membrane est accompli par l'action d'un champ électrique.

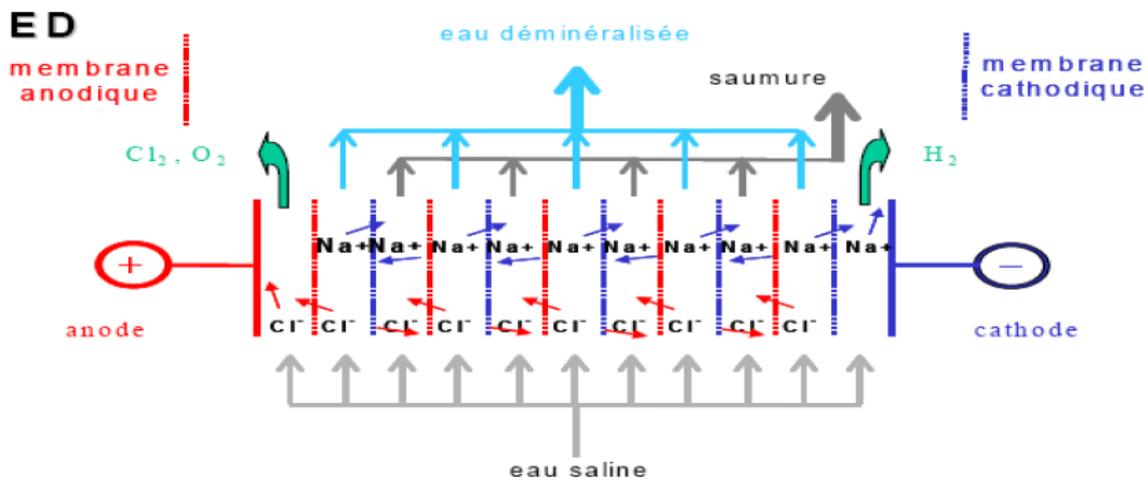


Figure III.3 : Schéma de principe de l'électrodialyse

III.3.2. Procédé à distillation (thermiques) :

Reposent sur un changement de phase **Eau-Vapeur**. L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels et les autres substances. La vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps.

III.3.2.1. Distillation à détente étagées (Distillation Multi stages Flash (MSF)) :

Dans ce procédé, basé sur le principe de l'évaporation flash, l'eau de mer est maintenue sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 90 à 120 °C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. L'introduction soudaine de l'eau chauffée à chaque étage déclenche une détente et son évaporation instantanée est appelée flash. Une petite fraction de cette eau est convertie en vapeur qui se condense sur les tubes du condenseur placés en haut de l'enceinte et l'eau liquide est recueillie en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène Flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La

vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 19 à 28 étages successifs dans une unité MSF industrielle moderne.

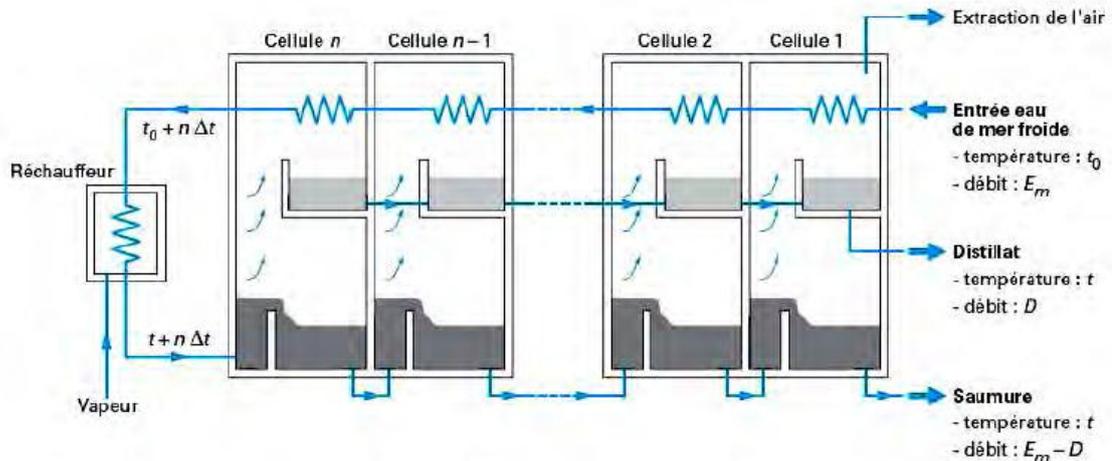


Figure III.4 : Distillation multi flash

III.3.2.2. Distillation à multi effets :

C'est la méthode de dessalement la plus ancienne. Le procédé consiste en l'évaporation sous pression ambiante réduite d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C dans une série d'évaporateur appelé 'effet'. L'évaporation a lieu sur une surface d'échange, contrairement au procédé précédent, où elle est assurée par détente à travers les étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le premier effet à basse pression (environ de 0.3 bar) est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure, et la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite.

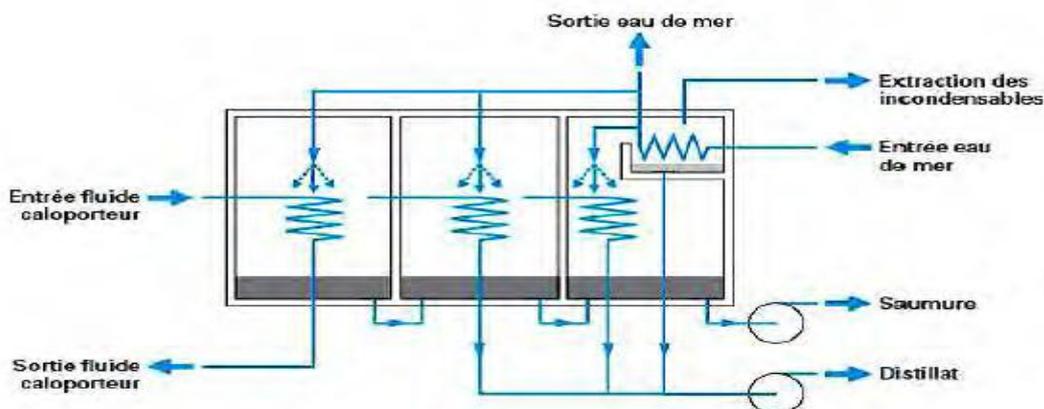


Figure III.5 : Procédé de la distillation multi effets

III.3.2.3. Distillation par compression mécanique de vapeur (MVC):

Le procédé de distillation par compression de vapeur (VC) est utilisé pour des installations de dessalement de petite ou moyenne capacités. L'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte isolée thermiquement, et la vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée. Ce procédé fonctionne uniquement avec de l'énergie électrique.

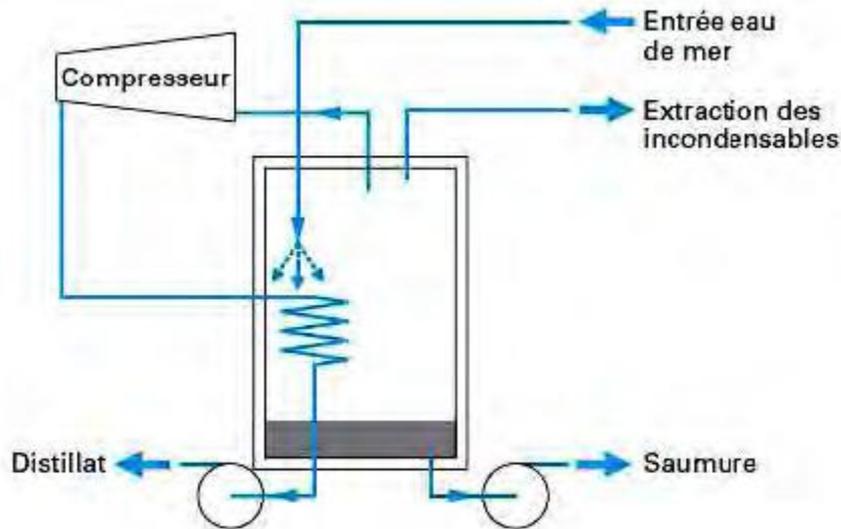


Figure III.6 : Distillation par compression de vapeur

III.3.3. Autres procédés :

Un certain nombre d'autres procédés ont été utilisés pour dessaler les eaux saumâtres ou marines. Ces procédés n'ont pas permis d'obtenir le rendement de la distillation ou de l'osmose inverse, mais ils se sont avérés valables dans certaines circonstances ou appellent encore des perfectionnements.

III.3.3.1. Congélation : Lors du processus de congélation, les sels dissous sont naturellement éliminés lors de la formation initiale de cristaux de glace. Le refroidissement de l'eau salée pour former des cristaux de glace sous des conditions bien définies est un moyen de dessaler l'eau de mer. Il existe plusieurs procédés de congélation pour dessaler l'eau de mer, et un petit nombre d'usines ont été installées à cet effet au cours des 50 dernières années.

III.3.3.2. Distillation sur membranes : le procédé consiste en l'association de distillation et de membranes. Au cours du processus, l'eau salée est chauffée pour augmenter la production de vapeur et cette vapeur est exposée à une membrane qui laisse passer la vapeur d'eau mais non l'eau sous forme liquide. Une fois que la vapeur a traversé la membrane, elle est condensée sur une paroi froide pour produire de l'eau douce.

III.3.3.3. L'ultrafiltration : a pour objet de séparer deux constituants en solution en fonction de leurs masses moléculaires. La membrane utilisée a des micropores de dimensions comprises entre 0.002 et 0.05mm, cette technique a des applications très divers, tels que les industries agroalimentaires, Textiles et pharmaceutiques ainsi que dans le traitement des eaux.

III.3.3.4. Microfiltration : Cette technique s'apparente à l'ultrafiltration mais s'en distingue par la nature des espèces à arrêter. De ce fait elles concernent la clarification et la stérilisation des eaux et des liquides alimentaires ou biologiques.

III.3.3.5. Nano filtration : est une technique membranaire relativement récente qui couvre un domaine de séparation intermédiaire entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse. Elle permet la séparation de composés ayant une taille en solution de l'ordre du nanomètre ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), d'où son nom. Les caractéristiques principales de la nano filtration sont les suivantes :

- les masses moléculaires des solutés retenus se situent entre 200 et 1000 g/mol.
- les pressions de travail (de 10 à 50 bars) sont plus basses que celles utilisées en osmose inverse (de 30 à 100 bars) et les débits de filtration supérieurs à ceux obtenus avec cette technique.
- la séparation des solutés électriquement chargés ne se fait pas sur le seul critère de leur taille mais aussi en fonction de leur charge.

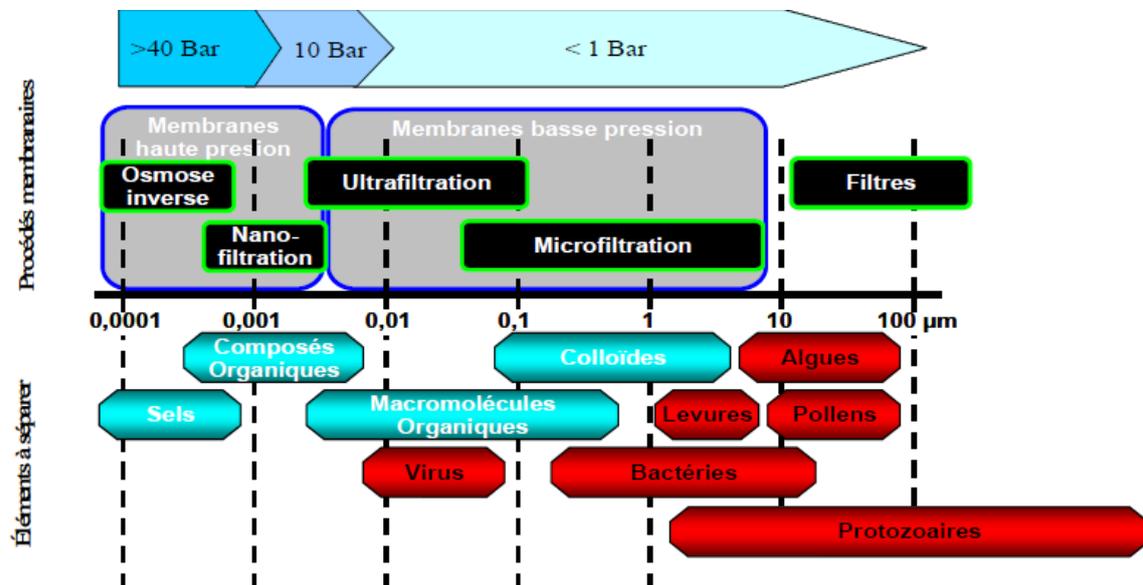


Figure III.7 : Place de la nano filtration entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration.

III.4. Présentation de la station de dessalement de Palm Beach :

III.4.1. Localisation de la station :

La station de dessalement d'eau de mer de Palm-Beach, dirigée par la société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAAL) est située dans la commune de ZERALDA à l'ouest d'Alger, mise en service en mai 2004 pour alimenter en eaux potable la population de Palm Beach, c'est une installation «monoblocs», la capacité de cette station est en fonction du débit d'arrivée à la station qui est de l'ordre de 2500m³/j. Le projet a été réalisé par l'entreprise Allemande LINDE-KCA. Cette station traite l'eau de mer en utilisant l'osmose inverse comme procédé de dessalement.



Figure III.8: Vue de la station de dessalement de palm Beach.



Site de la
Station de
dessalement

Figure III.9 : La situation de la station de dessalement de l'eau de mer Alger /Staoueli / palm Beach (photo satellite)

III.4.2. Principe de dessalement par osmose inverse de la station :

Le processus du dessalement d'eau de mer comporte quatre étapes principales :

- La captation de l'eau de mer
- Le prétraitement
- L'osmose inverse
- Le post-traitement

III.4.2.1. Prise d'eau de mer : pour alimenter la station par l'eau de mer, la prise d'eau directe à partir d'une conduite de 450m de longueur installé à une profondeur de 7m au niveau de la surface libre de la mer, muni d'une pompe d'aspiration. Cette conduite d'aspiration équipée d'une crépine permettant de filtrer les matières grossières empêchant leur introduction dans le système.



Figure III.10 : conduite de prise d'eau



Figure III.11 : Pompe de prise d'eau de mer



Figure III.12 : la crépine d'aspiration

III.4.2.2. Décanteur : après le captage d'eau de mer, l'eau va s'écouler dans un décanteur qui a pour but de séparer les solides des liquides. Il est formé de trois compartiments :



Figure III.13 : Le décanteur

- **La première chambre :** l'eau brute pénètre par faible débit dans la chambre afin que le phénomène de coagulation/floculation s'opère (ou continue de s'y opérer) où l'eau circule du bas vers le haut.



Figure III.14 : Le premier compartiment

- **La deuxième chambre :** elle se compose de lames en PVC fixée à 55° par rapport à l'horizontale. elles ont comme fonction la rétention des floccs (boue). L'eau partiellement décantée s'écoule vers la 3ème chambre à travers un collecteur.



Figure III.15 : Le deuxième compartiment

- **La troisième chambre :** ce compartiment est une rétention (stockage) d'eau et en même temps il termine la décantation.



Figure III.16 : Le troisième compartiment

Après la décantation l'eau brute arrive dans un réservoir de stockage d'eau brute, ensuite transférer par la pompe de transfert dans les réservoirs de filtre à sable.

Caractéristiques de la pompe de transfert illustré dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Caractéristiques de la pompe de transfert

Type et model	Ritz bloc 100-200.Z+37/2B
Diamètre de la bride d'aspiration	DN125
Diamètre de la bride de refoulement	DN100
Position	Horizontal
Débit	231m ³ /h
Hmt	36 mc
Régime	2970 tr/mn
Puissance	37 kW
Tension	400 V

III.4.2.3. Filtres à sable : la filtration à travers du gravier permet la rétention de matières en suspension de l'eau brute. Cette station se compose de quatre réservoirs filtrants. Ces quatre filtres travaillent en parallèle, équipés d'un dispositif de mesure de différence de pression, qui pour un réservoir filtrant enclenche automatiquement le processus de rinçage à contre courant dès que la perte de charge dépasse la valeur spécifiée de 3.5 bars.



Figure III.17 : Les filtres à sable

Tableau III.2 : Caractéristiques des filtres à sable

Nombre	4	
Surface	150 m ²	
Hauteur	3.5 m	
Pression admissible	4 Bars	
Température de service	17.5 – 25 °C	
Vitesse de filtration	Impossible de Connaitre la vitesse	
Couche filtration (matériau)	Le sable, gravier fin, gravier grossier....	
couche supérieure	Grosueur des grains	0.7-1.25mm
	Hauteur	4.3m
Couche médiane	Grosueur des grains	1.5-3.5m
	Hauteur	0.2m
Couche inférieure	Grosueur des grains	3.5-5.5m
	Hauteur	0.2m

III.4.2.4. Le micro filtre : avant que l'eau filtrée soit pompée par la pompe haut pression vers les membranes, elle doit passer dans 2 filtres fins appelés filtres-bougies remplaçable (une fois tous les 3 à 4 mois) et raccordés en parallèle. Chaque cartouche de filtres se compose de 35 filtres bougies, ils ont une porosité de 5µm. ils possèdent des conduites d'alimentation, des conduites d'écoulement, un système de purge et des manomètres qui indique la perte de charge.

La microfiltration consiste à éliminer d'un fluide les espèces dont les dimensions sont comprises entre 0.05 à 10 μm .



Figure III.18 : Les micro filtres

III.4.3. Installation de dessalement

III.4.3.1. Pompe à HP : la pompe haute pression sert à alimenter l'unité d'osmose inverse en eau prétraitée et filtrée avec une pression supérieure à 60 bars. Ces caractéristiques citées dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : caractéristique de la pompe haute pression

Type et model	Duchting Pompe
Position	Horizontal
Débit	232m ³ /h
Hmt	726m
Puissance	400kw
Diamètre de l'axe	55mm



Figure III.19 : La pompe HP

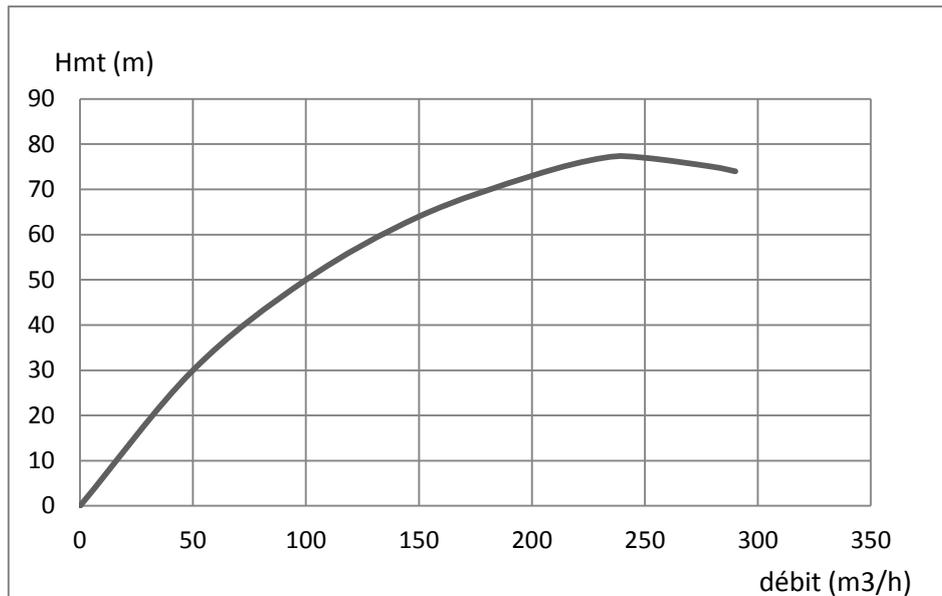


Figure III.20: courbe caractéristique de la pompe HP

III.4.3.2. Les module d'osmose inverse (membranes): cette unité d'osmose inverse se compose de 27 tubes de pression plus un autre de réserve bloqué par fausse bride (ce tube est installé au-dessus à gauche). Dans chaque tube de pression, sept membranes enroulées sont alignées. Les flux de l'eau osmose quittent les tubes de pression et se rejoignent à l'arrière dans une conduite commune du perméat menant au réservoir de stockage d'eau potable. pression de service des tubes à pression est de 57 bars.

Les coulées du concentrât coule avec une pression d'environ 65 bars après avoir quitté les tubes de pression pour ce rejoindre à leur tour dans une conduite commune de concentrât.



Figure III.21 : Les tubes de pression et les membranes

III.4.3.3. Réservoir d'eau traité : le perméat s'écoule ensuite librement vers un réservoir de stockage de l'eau potable. Il est fabriqué en béton et revêtu à l'intérieure d'une matière en plastique compatible avec l'eau potable, divisé en

deux compartiments séparés par une digue. Ce réservoir situé en dehors du bâtiment et est équipé d'un trop plein pour éviter le débordement de l'eau.

III.4.3.4. Bac de saumure : c'est un réservoir semi enterré, fabriqué en béton. Il reçoit le concentrât qui est déjà passé par la turbine. Ce réservoir mène directement vers la mer.

III.4.3.5. Poste traitement : il permet de potabiliser l'eau à la sortie de l'osmose inverse en 2 étapes: Correction de la corrosivité et Reminéralisations : le traitement consiste à ajouter du Co_2 et $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou du CaCO_3 . Désinfection finale : bien que certains procédés (osmose inverse) retiennent tous les micro-organismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine. Un post-traitement de reminéralisations permet de rendre à l'eau son équilibre calco-carbonique et de préserver ainsi le réseau de distribution de la dégradation par corrosion : ce traitement est réalisé par ajout de chaux et le chlore.

III.4.3.6. Pompes de refoulements : elles refoulent l'eau potable produite par la station de dessalement vers le réservoir de la ville par le biais d'une conduite de refoulement.



Figure III.22 : Les pompes de refoulements

Les caractéristiques des pompes de refoulements cités dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Caractéristique de la pompe refoulement

Type et model	Ritz bloc 100-200
Position	Horizontal
Débit	105 m ³ /h
Hmt	75 mc
vitesse	2970 tr/mn
Puissance	30kw
Alimentation	400 v

Conclusion :

Le dessalement est l'une des solutions éprouvées et sûres pour la mobilisation de ressources en eau supplémentaires, mûries et maîtrisées techniquement. L'osmose inverse a connu un développement technologique avec l'apparition sur le marché des membranes en polyamides plus stables et dont la durée de vie plus importante.

Dans la station de dessalement, les étapes de prétraitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce de bonne qualité.

CHAPITRE IV
***Application sur l'optimisation de
l'énergie électrique dans la station de
dessalement Palm Beach***

INTRODUCTION :

Ce chapitre consiste l'optimisation de l'utilisation de l'énergie électrique. Sur l'ensemble de système tarifaire, nous allons faire un diagnostic détaillé des factures de la consommation électrique de la station, Ensuite la compensation d'énergie réactive et l'amélioration de $\cos\phi$. Enfin on sélectionne une turbine qui sera installé dans le système de dessalement et ces dimensions.

I. Diagnostic des factures et l'optimisation de l'utilisation de l'énergie électrique :

I.1 Factures de la station en DA (année 2017) :

Ces factures sont calculées pour le tarif 41

Tableau IV.1 : Factures de la station en DA (années 2017)

Mois	Facture (DA)
Janvier	701449,94
Février	500308,05
Mars	567964,37
Avril	427688,77
Mai	230126,53
Juin	168070,05
Juillet	484002,32
Aout	69292,41
Septembre	66216,26
Octobre	66216,26
Novembre	66216,26
Décembre	439683,24

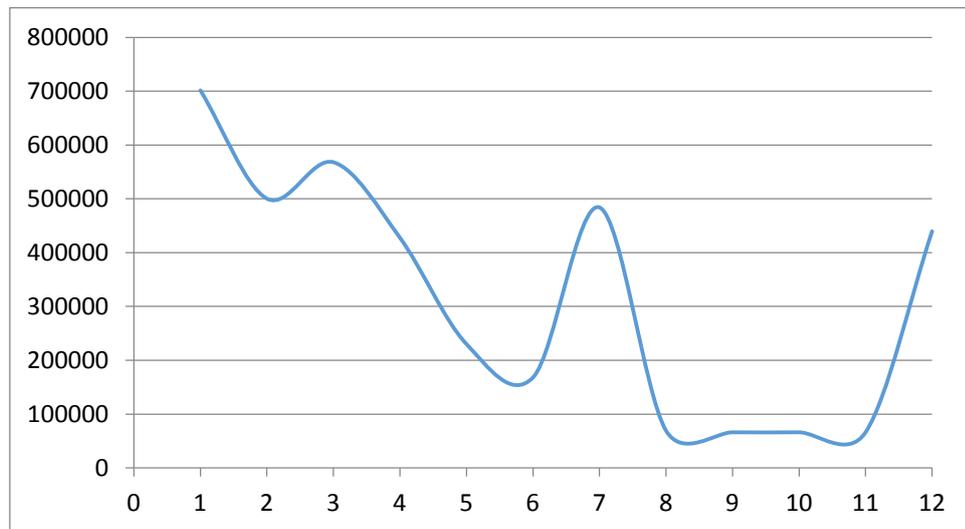


Figure IV.1 : variation de la facturation d'électricité pour chaque mois

Analyse :

Ce graphe représente une lacune au niveau des mois aout jusqu'à novembre, ce qui veut dire que la station est arrêtée dans cette période. La valeur majeure parmi toutes les factures est celle de janvier, donc on fait notre étude sur la base de mois de janvier et récapituler sur tous les autres mois.

I.2 Calcul de la facture avec les différents tarifs :

Après le calcul avec les différents tarifs on a aboutie aux résultats illustré dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Tableau récapitulatif de calcul de la facture

Puissance (kWh)	tg φ	Tarif41 (DA)	Tarif 42 (DA)	Tarif 43 (DA)	Tarif 44 (DA)
230	0,30	701 462,34	672 632,97	717 936,90	832 031,11

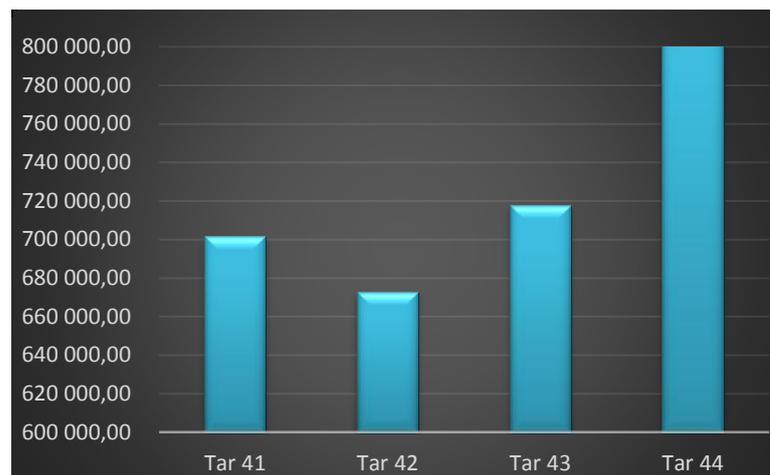


Figure IV.2 : Histogramme des factures en fonction des tarifs

II. Compensation de l'énergie réactive :

Tout système électrique utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie : **l'énergie active** et **l'énergie réactive**. Dans les processus industriels utilisant l'énergie électrique seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production en énergie mécanique, thermique, lumineuse, ..., l'énergie réactive sert notamment à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques (moteurs, autotransformateurs, ...). Par ailleurs, certains constituants des réseaux électriques de transport et de distribution (transformateurs, lignes, ...) consomment également dans certains cas d'exploitation de l'énergie réactive.

II.1 Energies et puissances électriques

Une installation électrique, en courant alternatif, comprenant des récepteurs tels que transformateurs, moteurs, ballastes de tubes fluorescents ou tout autres récepteurs dont l'intensité est déphasée par rapport à la tension, consomme de l'énergie réactive. Cette dernière (exprimée en kilo var heure – kVArh) est facturée au même titre que l'énergie active par les fournisseurs d'énergie. L'énergie réactive fait donc consommer plus de puissance et contribue ainsi à alourdir la facture d'électricité.

➤ PUISSANCE RÉACTIVE

Elle n'est pas une puissance à proprement parler puis que l'on ne peut pas en tirer un travail comme la puissance active. La puissance réactive Q est définie en analogie à la puissance active P .

$$Q=U*I*\sin\phi$$

➤ ÉNERGIE RÉACTIVE

Elle sert en particulier à créer dans les bobinages des moteurs, transformateurs, le champ magnétique sans lequel le fonctionnement serait impossible. Elle correspond à la puissance réactive Q (kVArh abréviation de "volt-ampère-réactif"). L'énergie s'exprime en kilo var par heures (kVArh).

Contrairement à l'énergie active, l'énergie réactive est dite "improductive" pour l'utilisateur.

$$\text{Énergie réactive} = E_r = \text{puissance réactive} \times \text{temps}$$

➤ PUISSANCE ACTIVE

C'est elle qui provoque, par exemple, un mouvement dans le cas d'un moteur, ou un dégagement de chaleur dans le cas d'une charge résistive, elle pourrait être qualifiée de puissance "utile". La propriété unique d'une puissance active est de faire un travail. Une charge absorbe une puissance active lorsque le courant est en phase avec le courant.

La puissance active s'exprime en watt (W).

➤ ÉNERGIE ACTIVE

Elle représente en physique la capacité d'un système à produire un travail, qui pourra entraîner un mouvement, une lumière, une chaleur ou même de l'électricité. L'énergie s'exprime en joules (système international d'unité), mais souvent en kilowatts par heures (KWh). L'énergie est donc la consommation d'un système produisant un travail pendant une heure.

$$\text{Énergie active} = E_a = \text{consommation} = \text{puissance active} \times \text{temps}$$

➤ ÉNERGIE APPARENTE

Elle est la résultante vectorielle de l'énergie active et réactive.

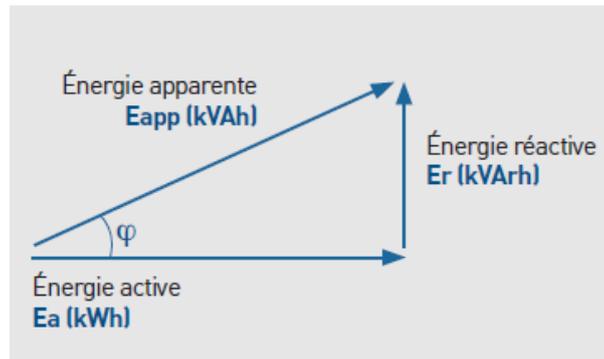


Figure IV.3. La résultante vectorielle de l'énergie active et réactive

➤ **FACTEUR DE PUISSANCE**

Par définition le facteur de puissance d'une installation électrique (FP) est égal au rapport de la puissance active P (kW) sur la puissance apparente S (kVA).

$$FP = P (kW) / S (kVA)$$

En général $FP = \cos\varphi$

Un bon facteur de puissance c'est :

- $\cos\varphi$ élevé (proche de 1)
- ou $\tan\varphi$ faible (proche de 0)

Un facteur de puissance égal à 1 ne conduira à aucune consommation d'énergie réactive et inversement. Les appareils de comptage d'énergie enregistrent les consommations d'énergie active et réactive. Les fournisseurs d'électricité utilisent généralement apparaître le terme $\tan\varphi$ au niveau de leur facture.

$\cos\varphi$ et $\tan\varphi$ sont liés par la relation suivante :

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}}$$

II.2 INCONVENIENTS D'UN MAUVAIS $\cos \varphi$:

- Une augmentation du montant de la facture SNG. (une consommation excessive d'énergie réactive peut également entraîner une majoration sous forme de pénalité du montant de votre facture SNG : difficulté qu'a SNG à prévoir la quantité d'énergie à produire).
- Une surcharge ou un surdimensionnement de l'installation. En effet, si le $\cos \varphi$ diminue, It (courant réellement transporté) augmente, or, les facteurs qui limitent la puissance maximale que peut transmettre une ligne sont, d'une part la chute de tension (fonction de I), d'autre part la température maximale admissible par l'isolant : à peu près 70° pour du PVC (fonction de I²)

Tableau. IV.3 : Caractéristiques des Pompes.

Pompe	Type de Pompe	Le débit (Q(m ³ /h))	U(V)	I(A)	Puissance (P (kW))	Vitesse de rotation (N (tr/min))	Facteur de puissance (cosφ)
Pompe de transfert	Ritz	232	400	65	37	2970	0.9
Pompe HP	Duchting	232	400		400	2982	0.89
Pompe de refoulement	Ritz	105	400	63.5	30	2970	0.84

II.3 Compensation de l'énergie réactive :

La circulation des puissances active et réactive provoque des pertes actives et des chutes de tension dans les conducteurs. Les pertes actives réduisent le rendement global des réseaux et les chutes de tension sont néfastes au maintien d'une bonne tension que doit le distributeur à ses clients. Ainsi est-il donc préférable sur le plan technique de les produire le plus près possible des lieux de consommation.

- Pour la puissance active, on montre qu'il est plus économique de la produire d'une manière centralisée et de la distribuer ensuite aux clients. Le coût du transport est bien moins élevé que le surcoût d'une production réalisée localement.
- En revanche, pour la puissance réactive, il est économiquement plus intéressant de la produire, en tout ou partie, localement par des générateurs d'énergie réactive autonomes comme les condensateurs par exemple. Cette pratique est appelée COMPENSATION.

Pour le facteur de puissance réactive :

L'amélioration du Cosinus ϕ doit passer par l'installation d'un moyen de compensation qui constitue la solution la plus efficace : très généralement une ou plusieurs batteries de condensateurs (Véritable générateur d'énergie réactive : I en avance de 90° sur U réseau).

Pour cela, un appareil ou groupe d'appareils appelant une puissance active P (en kW) et une puissance réactive (en kVAR) dont on souhaite réduire la Tg (ϕ) à une valeur plus faible Tg(ϕ').

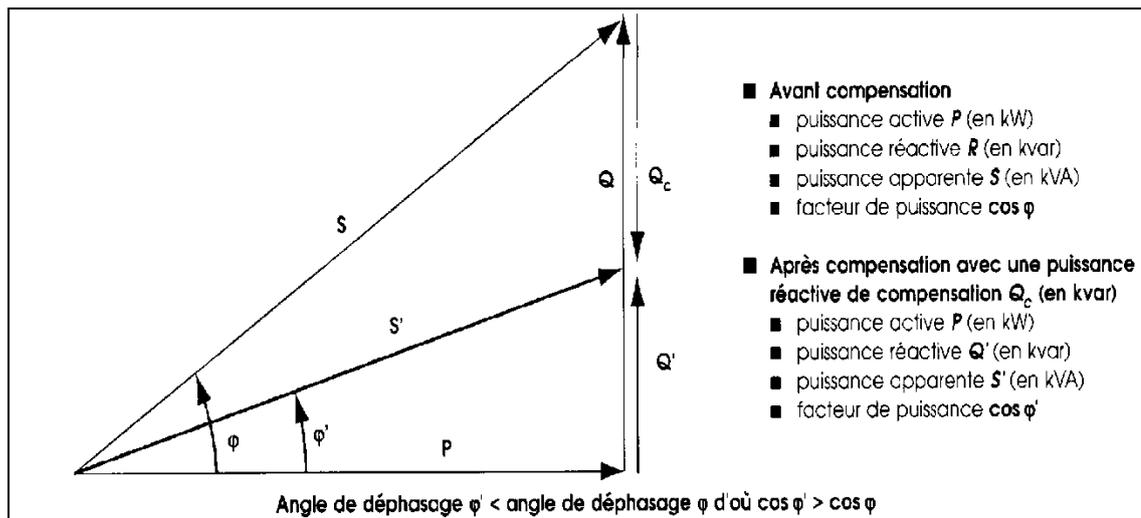


Figure IV.4 : Schéma de principe de la compensation

Puissance réactive Q'

Puissance apparente S'

Facteur de puissance $\cos \varphi'$

La puissance réactive de compensation à installer à pour expression : $Q_c = P (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')$

$$Q = P \cdot \operatorname{Tg}(\varphi) \text{ et } Q' = P \cdot \operatorname{Tg}(\varphi')$$

La puissance du ou des condensateurs à installer sera égale à :

$$Q_b = P (\operatorname{Tg}(\varphi) - \operatorname{Tg}(\varphi')) = Q - Q'$$

II.4 Moyens de compensation :

La compensation peut se faire en basse tension ou en haute tension en utilisant des condensateurs. En basse tension la compensation est réalisée avec deux familles de produits :

- les condensateurs de valeurs fixes ou condensateurs fixes,
- les équipements à régulation automatique ou batteries automatiques qui permettent d'ajuster en permanence la compensation aux besoins de l'installation. Lorsque La puissance à installer est supérieure à 800 avec une charge stable et continue il peut être plus économique de choisir des batteries de condensation haute tension à installer sur le réseau.

II.4.1 La compensation automatique :

Installées en tête de l'ensemble de la distribution basse tension ou d'un secteur important, les batteries de condensateurs sont divisées en gradins. La valeur du $\cos \varphi$ est détectée par un relais var métrique qui commande automatiquement l'enclenchement et le déclenchement des gradins en fonction de la charge et du $\cos \varphi$ désiré. Le transformateur de courant doit être placé en amont des récepteurs et des batteries de condensateurs.

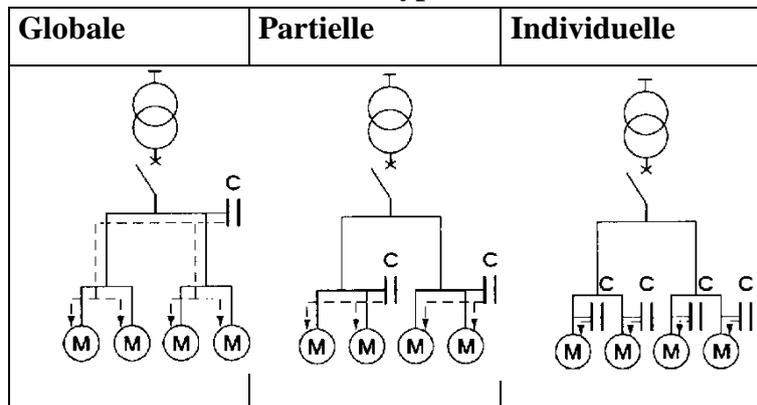
La compensation automatique permet l'adaptation immédiate de la compensation aux variations de la charge et évite, ainsi, le renvoi d'énergie réactive sur le réseau SNG et les

surtensions dangereuses pour les circuits d'éclairage lors des marches à faible charge de l'installation.

Installation d'une batterie de condensateurs

Les condensateurs peuvent être installés à différents niveaux de l'installation. A partir des schémas suivants, identifier le type de compensation :

Tableau IV. 4: Le type de condensateur



- **Globale :**

La batterie de condensateurs est raccordée en tête de l'installation et reste en service de façon permanente. Ce mode de compensation convient lorsque la charge est stable et continue.

- **Partielle :**

La batterie de condensateurs est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier ou par groupe de récepteur. Ce mode de compensation convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.

- **Individuelle :**

La batterie de condensateurs est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur de type inductif, notamment les moteurs. Elle convient lorsque la puissance de certains récepteurs est très importante par rapport à la puissance totale, elle offre le plus d'avantages.

III. La sélection de type de turbine et son dimensionnement :

III.1 La sélection de type de turbine :

Le choix d'un type de turbine va être fonction de la chute nette et du débit. La figure permet de sélectionner un type de turbine en fonction de la chute et du débit.

- Le débit de la pompe est de $Q = 0.064 \text{ m}^3/\text{s}$
- La hauteur de chute nette est de 156 m. (la différence entre la pression à la sortie de pompe HP (72.6 bars) et à l'entrée des modules d'osmose (57bars))

Par projection on a choisis la turbine Pelton.

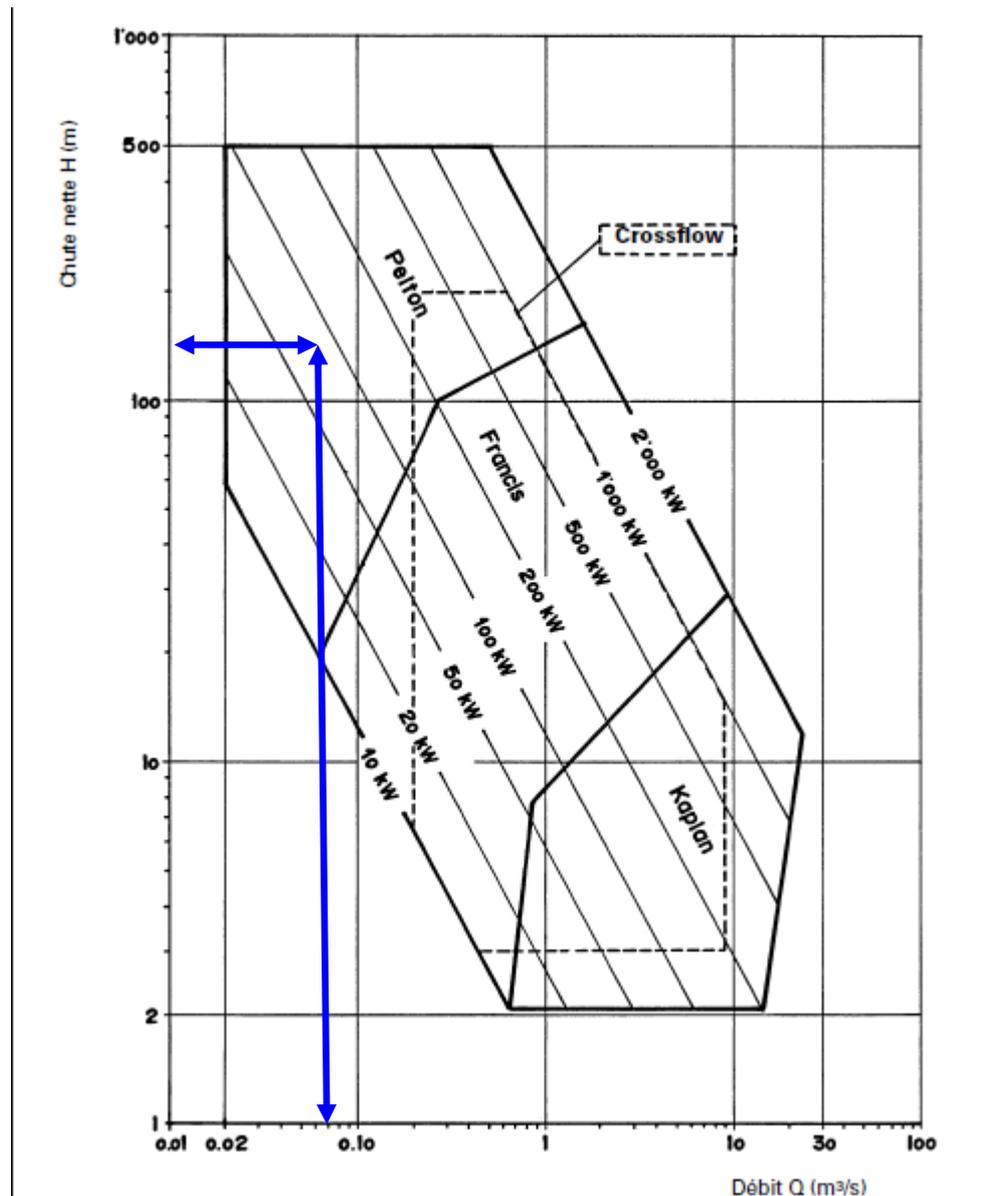


Figure IV.5 : Diagramme de choix de types de turbine

1. La puissance mécanique :

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

$$P_{mec} = \eta Q H \rho g$$

Avec : P_{mec} : puissance mécanique en (w)

η : rendement de la turbine pris égale à 85% d'après le tableau

Q :debit total (m3/s)

H : la chute nette (m)

ρ : masse volumique de l'eau de mer (=1039kg/m3)

g : accélération gravitaire

Le tableau suivant donne les caractéristiques des différents types de turbines :

Tableau IV.5. Caractéristiques des différents types de turbines

Nom	Type	Rendement maximum	Débit min. turbinable
Pelton	action	84 à 90%	10% de Q_{max}
Francis	réaction	84 à 90%	30% de Q_{max}
Kaplan	réaction	84 à 90%	20% de Q_{max}
Crossflow	action	78 à 84%	20% de Q_{max}
Pompe inversée	réaction	75 à 90%	débit fixe

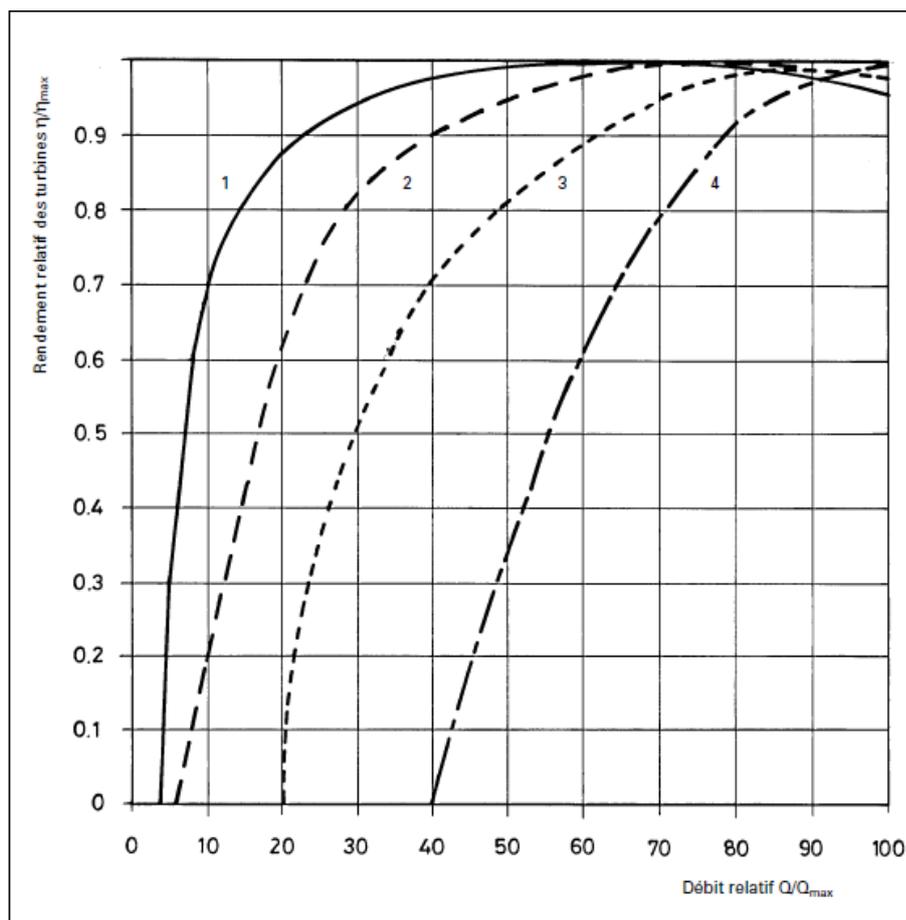


Figure IV.6 : Forme des courbes de rendement de différentes turbines pour des débits variables.

Ordre de grandeur des rendements maximum η_{max} :

- Courbe1 : Turbine Pelton $\eta_{max} = 84-90\%$
- Turbine Crossflow à 2 cellules $\eta_{max} = 78-84\%$
- Courbe2 : Turbine Kaplan $\eta_{max} = 84-90\%$
- Courbe3 : Turbine Francis $\eta_{max} = 84-90\%$
- Turbine Crossflow à 1 cellule $\eta_{max} = 78-84\%$
- Courbe4 : Pompe inversée $\eta_{max} = 75-90\%$

2. La puissance électrique :

C'est la puissance directement disponible aux bornes du générateur.

Elle se calcule en introduisant le rendement du générateur.

$$P_{\text{él}} = \eta * P_{\text{mec}}$$

Avec : $P_{\text{él}}$: puissance électrique (w)

η : rendement du générateur (pris égale 82%)

P_{mec} : puissance mécanique (w)

La puissance électrique instantanée dépend du débit de la turbine.

Tableau IV.6. Rendement des générateurs à charge totale

$P_{\text{él}}$ [kW]	η_{gmax}
1 à 5	80% – 85%
5 à 20	85% – 90%
20 à 100	90% – 95%
> 100	95%

3. Calcul de la production annuelle de l'énergie électrique :

Production annuelle : 8760 heures / année

$$E_{\text{annuelle}} = 8760 * P_{\text{él}} = 8760 * 72.805 = 637767.7 \text{ kWh / an}$$

Cette énergie produite représente 31.7% de l'énergie consommé.

Le prix de l'énergie produite : sera égale à la multiplication de la puissance produite par la somme des prix de l'énergie dans les postes horaires pour le tarif 42, elle est égale à de 260262.6 DA/mois.

III.2 Dimensionnement de la turbine :

Une fois le type de la turbine connu on passe à la détermination de sa vitesse spécifique et ces dimensions.

III.2.1 La vitesse de rotation N : correspond au nombre de tours qu'effectue la roue par unité de temps, donnée toujours en tours /minute (tr/min).

La vitesse de rotation d'un générateur est liée à la fréquence constante du réseau 50 Hz. Donnée par la formule suivante :

$$N = 60f/P$$

Avec : **N** : vitesse de rotation (tr/min)

f : fréquence du réseau (Hz)

p : nombre de paires de pôles

Les générateurs synchrones, selon leur nombre de pôles, tourneront aux vitesses suivantes :

1 paire de pôles $n = 3000$ t /min

2 paires de pôles $n = 1500$ t /min

3 paires de pôles $n = 1000$ t /min

4 paires de pôles $n = 750$ t /min

5 paires de pôles $n = 600$ t /min

6 paires de pôles $n = 500$ t /min

Les vitesses de rotation des générateurs seront supérieures de 1 à 2% aux valeurs indiquées, une légère survitesse étant nécessaire pour créer le champ magnétique dans la machine.

En pratique :

– La vitesse maximum est limitée à 1500 t / min (2 paires de pôles), pour tenir compte de la survitesse de l'emballement qui provoque des contraintes mécaniques très importantes au-delà des vitesses d'emballement de 1,8 fois la vitesse nominale sous la chute nette H nominale. De ce fait, des génératrices à 1 paire de pôles ne sont que rarement installées (vitesse d'emballement 6000 t / min).

– En dessous de 600 t / min (6 paires de pôles et plus), le volume du générateur, donc son prix par rapport à la puissance installée, augmente parallèlement à une baisse du rendement dû à une augmentation des pertes, en particulier magnétiques.

Lorsque la vitesse de rotation de la turbine est inférieure à 600 t /min, elle entraîne généralement une génératrice à faible nombre de pôles(1000 ou 1500 t / min) par l'intermédiaire d'une transmission à courroie ou d'un multiplicateur à engrenages par exemple.

Donne notre cas le nombre de pair de pôles c'est 2 avec une vitesse de rotation de 1500 tr/min.

III.2.2 La vitesse spécifique : elle est définie comme étant le nombre de tours par minute auquel devra tourner la roue à un débit de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ et une hauteur de 1 m. données par la relation suivante :

$$N_s = 1.166NP^{1/2}H^{-5/4}$$

N_s : vitesse spécifique (tr/min)

N : vitesse de rotation (tr/min)

P : puissance (kW)

H : hauteur de chute brute (m)

Après calcul on a obtenu une vitesse spécifique de 3.96 tr/min, elle est incluse dans le domaine de $2 < N_s < 31$ donc la turbine est une turbine Pelton à une roue et un jet.

Tableau IV.7 : les domaines d'utilisation des différents types de turbines

N _s (tr/min)	Type de turbine
2 à 31	Pelton à 1 roue et un jet
31 à $31\sqrt{2}$	Pelton à "1 roue et 2 jets" ou "2 roues et 1 jet"
$31\sqrt{2}$ à 62	Pelton à "2 roues et 2 jets" ou "1 roue et 4 jets"
75 à 400	Francis
500 à 1200	Hélice ou Kaplan

III.2.3 Calcul des dimensions de la turbine :

Le diamètre de la roue :

$$D_r = 37 * H^{1/2} / N$$

Le diamètre d'injecteur :

$$D_j = 0.545 * Q^{1/2} H^{1/4}$$

Après calcul

$$D_j = 0.039m$$

$$D_r = 0.308m$$

Conclusion :

L'étude du présent chapitre donne les résultats suivants :

- ✓ le code de tarification le plus avantageux et qui minimise les coûts pour la collectivité est le tarif 42. Ce code nous permet de gagner sur la facture la somme de 28829 DA/mois, qui est l'équivalent de 345952 DA/an, ce qui représente un taux de 4% par rapport au tarif 41.
- ✓ Le facteur de puissance $\cos\phi$ de toute l'installation est bon et est autour de 0.95, donc il n'est pas utile de recourir à la compensation.
- ✓ L'introduction d'une turbine de type Pelton à un jet et une roue, permet de produire une énergie de 72.8 kWh ce qui représente 31.7%
- ✓ La facture est optimisée est de 27%

Le tableau suivant est un tableau récapitulatif de l'application :

Tableau IV.8. Tableau récapitulatif des résultats.

Le prix final de la facture	512370.34	DA/mois
Le facteur de puissance $\cos\phi$	0.95	-
Pression à l'entrée des modules	570	M
Pression à la sortie de la Pompe HP	726	M
La chute nette (pression nominal)	156	M
Le débit	0.064	m ³ /s
la masse volumique de l'eau de mer	1039	Kg/m ³
rendement de la turbine	85	%
Le rendement de générateur	82	%
La fréquence de réseau	50	Hz
Le nombre de pair de pôles	2	-
La puissance mécanique	88.78	kW
La puissance électrique	72.8	kW
L'énergie électrique produite	72.8	kWh
Production annuelle de l'énergie électrique	637767.7	kWh
La vitesse de rotation	1500	tr/min
La vitesse spécifique	3.96	tr/min
Diamètre de la roue	31	Cm
Diamètre de l'injecteur	4	Cm

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le recours au dessalement des eaux (et plus particulièrement celles de mer) dans les pays Méditerranéens, et plus particulièrement ceux sud, deviendra (et le sera davantage), dans un avenir proche, un impératif incontournable. Les avantages et inconvénients du dessalement doivent être évalués en termes de coûts et bénéfices, sociétaux et environnementaux, l'objectif de notre étude consistait à intégrer au sein du processus de dessalement une turbine en vue de récupérer une partie de l'énergie pour optimiser le fonctionnement et assurer la stabilité de l'énergie dépensée au sein de l'unité (économie de l'énergie).

Pour tout projet de dessalement des eaux (et en particulier des eaux de mer), il est nécessaire de réaliser une étude technico-économique de l'usine de dessalement qui doit se focaliser notamment sur les deux aspects les plus critiques : le rejet des saumures sur l'écosystème marin et l'accroissement de la consommation énergétique, par rapport aux autres alternatives de ressources en eau potable. Notre étude s'est focalisée sur le second aspect qui est une préoccupation majeure, la consommation électrique de l'osmose inverse.

Par ailleurs, les conclusions suivantes peuvent être tirées de l'analyse économique :

Le challenge technique était de mettre au point des procédés toujours plus économes en énergie, si possible renouvelable, en cherchant à se rapprocher de l'ultime limite de l'énergie minimum de dessalement. Une étude détaillée des différentes factures de la Sonelgaz a montré que **le tarif 42 est le plus avantageux avec un gain de 345952DA/an**

L'introduction d'une turbine entre le processus d'osmose et la pompe HP a permis d'obtenir 32% de l'énergie consommée par la station.

Enfin et pour conclure, il est recommandé de :

De combiner une autre source d'énergie avec l'électricité afin d'optimiser au maximum le système aussi bien du point de vue technique qu'économique. Et il apparaît nettement que le système de récupération d'énergie par le biais d'une turbine est la solution la plus adéquate pour une minimisation des consommations énergétiques spécifiques du procédé d'osmose inverse.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adda. A, Naceur. W.M. et Abbas .M, Modélisation et optimisation de la consommation d'énergie d'une station de dessalement par procédé d'osmose inverse en Algérie, Revue des Energies Renouvelables Vol. 19 N°2 (2016) 157 – 164.

AHMOUDA Iman et BIAA Hadjer, Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de "Les Dunes" Oran. THESE pour l'obtention du diplôme de Master en Génie minier, Option : Minéralurgie (UNIVERSITE LARBI TEBSSI-TEBESSA), 2016.

AINAOUI Aziza, Optimisation de prétraitement de l'eau de mer à la station de dessalement de l'eau de mer de Bou Ismail. THESE pour obtention de diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie des Procédés Option Génie de l'Environnement (UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA), 2009.

AMITOUCHE Mourad, impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur. Thèse pour obtention de diplôme doctorat en sciences en hydraulique, spécialité hydraulique (université Mohamed khider – Biskra), 2016.

A.PAGES, L'utilisation des énergies renouvelables pour l'électrification rurale décentralisée des pays en développement, Octobre (2000).

Association Méditerranéenne des Agences Nationales de Maitrise de l'énergie, l'efficacité énergétique dans les pays du sud et de l'est de la méditerranée, Panorama des Politiques et des bonnes pratiques, Avril 2012.

ATALLAH Abderrazak, procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine - teneurs : cations, anions et métaux lourds -. Thèse pour l'obtention du diplôme de master en biologie option alimentation et nutrition (université Abou Bekr BELKAID Tlemcen), 2014.

Bernard Multon. L'énergie électrique : analyse des ressources et de la production. Journées de la section électrotechnique du club EEA 1999, Jan 1999, PARIS, France. 22 p., 1999. < hal-00674084 >

BOUBEKRI Mahmoud, étude et optimisation des caractéristiques de fonctionnement d'un système de dessalement hybride. Thèse pour obtention de diplôme de doctorat en sciences en physique spécialité, physique énergétique, option photo –thermique (université des frères MENTOURI Constantine).

BOUZIANI née BOUBOU Naima, Eau, environnement et énergies renouvelables : vers une gestion intégrée de l'eau en Algérie. THÈSE Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences de gestion (UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID -TLEMEN-) 2015, p 236-343.

CDER, les énergies renouvelables stratégies et développement en Algérie, Oran 23-25 octobre, 2017.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DENIS Vincent, Turbinage des eaux potables : Critères de choix et dimensionnement des équipements, laboratoire de Mini hydraulique (MHyLab), atelier de formation turbeau, Chemin du Bois Jolens 6 CH - 1354 Montcherand Suisse / Switzerland, janvier 2011.

DIOP Saidou Nourou, élimination partielle du fluor et de la salinité des eaux souterraines du bassin arachidier par nano filtration et par adsorption sur argile. Thèse de doctorat spécialité : chimie, microbiologie et traitement de l'eau (université cheikh ANTA DIOP de Dakar), 2010.

Évaluation du potentiel de turbinage sur les systèmes d'eaux usées, Université Mohamed Khider -Biskra Première Conférence Internationale sur les Barrages, 2018.

Ginocchio. R, l'énergie hydraulique, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Editions EYROLLES 61, Bd Saint-Germain Paris 5^e, 1978. P 419-502.

Henri Boyé, eau, énergie, dessalement et changement climatique en méditerranée, Conseil général de l'environnement et du développement Durable Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du développement Durable et de l'aménagement du Territoire, France, Aout 2008.

HUGUET Arnaud, mise au point de procédés membranaires pour l'étude de la matière organique dissoute en milieux côtiers. Thèse de doctorat en chimie analytique et environnement (l'université bordeaux 1, école doctorale des sciences chimiques), 2007.

JAUMOTTE .André L, DECOCK Pierre, MEGNINT Lucien et VERDURAND Georges, Turbines hydrauliques Description et évolution.

Optimiser la qualité de l'énergie : guide technique et catalogue compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électrique Legrand Belgique S.A.Kouterveldstraat, 9 1831 Diegem.

Ministre de l'énergie, Programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique en Algérie, Janvier 2016.

Programme d'action Energies renouvelables (PACER) de l'Office fédéral des questions conjoncturelles, Petites centrales hydrauliques Le choix, le dimensionnement et les essais de réception d'une mini turbine ; 1995.

Programme d'action Energies renouvelables (PACER) de l'Office fédéral des questions conjoncturelles, Petites centrales hydrauliques turbines hydrauliques, 1995.

Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, Mars 2011.

Société hydraulique d'études et missions d'assistance, Dimensionnement des Turbines Lycée Chevrollier, Mars 2010.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Sources d'énergie renouvelable et atténuation du changement climatique, résumé de l'intention des décideurs et résumé technique ; Rapport spécial du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 201, p.9.

Système tarifaire à la SONELGAZ : guide Sonelgaz spa 2016.

TOUILEB Rabah directeur général de la stratégie et de la prospectives, Système électrique et gazier Algérien Organisation, Evolution et Perspectives.

Wei. S-H, Chen. S and Gong. X.G, Phys. Rev B 75, 205209(2007)