



Université Abderrahmane-Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département Génie Electrique

Mémoire de Fin d'études

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière: Electrotechnique

Spécialité: Electrotechnique industrielle

Thème :

Etude de la station de pompage dédiée à l'installation de dessalement d'eau de mer de Tighremt

Présenté par:

Boudjemline Mohamed

Encadré par:

Dr. Adjati Arezki

Dr. Hamitouche Kamel

Année Universitaire

2024/2025

Remerciements

Avant toute chose, nous rendons grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir donné la force, le courage et la patience nécessaires à l’accomplissement de ce travail.

Nous exprimons nos plus sincères remerciements à nos encadrants, **Dr ADJATI Arezki**, pour sa disponibilité, ses conseils précieux et son accompagnement tout au long de ce projet. Nos remerciements s’adressent également au **Dr HAMITOUCHÉ Kamel**, Co-encadrant de ce mémoire, pour son encadrement rigoureux, sa générosité intellectuelle et son soutien constant.

Nous tenons à remercier chaleureusement **Meghazi Zine Alabidine** ainsi que toute l’équipe de l’entreprise **COSIDER** pour leur accueil, leur assistance technique et leur contribution active à la réussite de notre stage. Leur engagement, leur bienveillance et leur professionnalisme ont grandement enrichi cette expérience.

Nos remerciements vont également vers l’ensemble des enseignants et intervenants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire, pour la qualité de leur enseignement et leur dévouement.

Nous remercions les membres du jury pour l’honneur qu’ils nous font en évaluant ce travail, ainsi que pour le temps et l’attention qu’ils lui ont consacrés.

Enfin, nous adressons notre profonde reconnaissance à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à la réussite de ce mémoire, que ce soit par leur soutien moral, leurs encouragements ou leurs conseils

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d’études : À mes chers parents : vous êtes pour moi un sujet de fierté. Vous m’avez, toujours appris le sens de la responsabilité, de la raison, du devoir et de la confiance en soi. Je vous remercie pour votre soutien, conseils et aide indéfectible. Je vous dédie tous mes efforts, et j’espère que ce travail vous rendra fière.

À mes merveilleuses sœurs et à mon frère, pour leurs encouragements et leur soutien inconditionnel.

À toute la famille Boudjemline.

À tous mes amis Samy, Brahim, Didine, Saleh, Yanis, Rayanne avec lesquels j’ai partagé les plus beaux moments de mon Cursus universitaire.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Listes des Figures	I
Liste des Tableaux	ii

Introduction générale

Introduction générale	01
-----------------------	----

Chapitre I : Présentation de l'installation de dessalement d'eau de mer

I.1	Introduction	02
I.2	Localisation et rôle de l'installation	02
I.3	Présentation de l'organisme d'accueil	03
I.3.1	Historique et mission	03
I.3.2	Organisation et domaines d'intervention	03
I.3.3	COSIDER et la station de pompage de Tighremt	03
I.4	Présentation du projet	04
I.5	Définition du dessalement de l'eau de mer	06
I.6	Historique et origine du dessalement de l'Eau de Mer	06
I.7	Les technologies utilisées dans le dessalement de l'eau de mer	07
I.7.1	Les technologies thermiques	07
I.7.2	Les technologies membranaires	08
I.7.3	Les technologies émergentes	08
I.8	Principe de fonctionnement de l'osmose et de l'osmose inverse	08
I.9	Fonctionnement technique de la station de Tighremt	09
I.10	Enjeux environnementaux et stratégies de réduction des impacts	10
I.11	Perspectives d'évolution et intégration durable	11
I.12	Conclusion	11

Chapitre II : Généralités sur les stations de pompage

II.1	Introduction	12
II.2	Définition et rôle d'une station de pompage	12
II.3	Types de pompes utilisées dans les installations hydrauliques	13
II.3.1	Pompe à engrenages	14
II.3.2	Pompe à palettes	14
II.3.3	Pompe à pistons	15
II.3.4	Pompe immergée	15
II.3.5	Pompe centrifuge	16
II.3.5.1	Définition & Fonctionnement	16
II.3.5.2	Différents types de pompes centrifuges	16
II.3.5.3	Moteurs d'entraînement	17
II.4	Principaux composants d'une station de pompage	17
II.4.1	Pompes utilisées dans la station de pompage	18
II.4.2	Réseaux de tuyauterie et organes de régulation	18
II.4.3	Commande et supervision de la station de pompage	19
II.4.4	Commande et supervision de la station de pompage	19
II.5	Types de stations de pompage	21
II.5.1	Classification selon l'implantation	21
II.5.2	Classification selon la disposition dans le réseau	22
II.5.3	Classification selon le type du fluide pompé	23
II.5.4	Classification selon le mode de fonctionnement	24
II.6	Critères de conception	25
II.6.1	Débit et hauteur manométrique totale (HMT)	25
II.6.2	Rendement global	25
II.6.3	Redondance et maintenance	25
II.6.4	Aspects énergétiques	26
II.7	Normes et recommandations	26
II.7.1	Normes internationales	26
II.7.2	Règles de sécurité et d'installation	26
II.8	Conclusion	27

Chapitre III : Alimentation et distribution électrique de la station

III.1	Introduction	28
III.2	Sources d'alimentation électrique pour la station de pompage	28
III.2.1	Source d'alimentation électrique principale	28
III.2.2	Source d'alimentation électrique autonome	28
III.3	Caractéristiques des transformateurs de puissance	29
III.3.1	Transformateur n°1 – TEK Transformatör	29
III.3.2	Transformateur n°2 – Electro Industries (Made in Algeria)	30
III.4	Dispositifs de protection installés	31
III.5	Distribution électrique interne de la station de pompage	32
III.6	Dispositifs de protection	32
III.7	Contrôle périodique – maintenance	32
III.8	Conclusion	33

Chapitre IV : Dimensionnement de la station de pompage

IV.1	Introduction	34
IV.2	Etude des caractéristiques hydrauliques de la station	34
IV.2.1	Débit requis	34
IV.2.2	Hauteur géométrique	35
IV.2.3	Caractéristiques des conduites	35
IV.2.4	Calcul de la hauteur manométrique totale (HMT)	36
IV.3	Sélection des pompes	37
IV.3.1	Critères techniques de sélection	37
IV.3.2	Type de pompe retenue	38
IV.3.3	Configuration de fonctionnement	39
IV.4	Détermination de la puissance hydraulique et électrique nécessaire	40
IV.4.1	Calcul de la puissance hydraulique	40
IV.4.2	Calcul de la puissance électrique	41
IV.5	Equipements électriques et dispositifs de démarrage	41
IV.5.1	Intégration des variateurs de fréquence (VFD)	42
IV.5.2	Sécurité, maintenance et redondance du système	42
IV.6	Analyse du bilan de puissance de la station de pompage SP1.1	42
IV.6.1	Base de calcul	42
IV.6.2	Compensation	43

IV.6.3	Réduction du courant grâce à l'amélioration du facteur de puissance	44
IV.6.4	Impact de l'amélioration du facteur de puissance	44
IV.6.5	Facteur de simultanéité et d'utilisation	45
IV.7	Partie basse tension de la station de pompage	45
IV.7.1	Identification des équipements de la partie basse tension	45
IV.7.2	Bilan de puissance partie basse tension	46
IV.7.3	Critère du choix du transformateur	46
IV.7.4	Choix du transformateur	47
IV.7.5	Amélioration du facteur de puissance	48
IV.7.5.1	Analyse énergétique de la station basse tension	48
IV.7.5.2	Calcul de la compensation nécessaire	48
IV.7.5.3	Impact de l'amélioration proposée	49
IV.7.5.4	Résumé technique de l'amélioration du facteur de puissance	50
IV.7.5.5	Puissance unitaire des batteries de condensateurs disponibles	50
IV.7.6	Consommation des équipements poste par poste	51
IV.8	Partie moyenne tension (HTA) de la station de pompage	51
IV.8.1	Caractéristiques électriques d'une pompe	52
IV.8.2	Synthèse des puissances pour les pompes	52
IV.8.3	Bilan de puissance de la partie moyenne tension (HTA)	53
IV.8.3.1	Données de base	53
IV.8.3.2	Calcul du bilan de puissance	53
IV.9	Conclusion	53

Conclusion générale

Conclusion générale	55
Perspectives	56

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Chapitre I : Présentation de l'installation de dessalement d'eau de mer

Figure I.1	Station de dessalement en cours de réalisation	05
Figure I.2	Vue en plan du schéma de raccordement aval de la SDEM aux systèmes existants.	05
Figure I.3	Dessalement d'eau de mer par la technologie thermique.	07
Figure I.4	Dessalement d'eau de mer par la technologie membranaire.	08
Figure I.5	Phénomène de l'osmose et l'osmose inverse	09

Chapitre II : Généralités sur les stations de pompage

Figure II.1	Schéma synoptique global de la station de pompage.	13
Figure II.2	Illustration d'une pompe à engrenages	14
Figure II.3	Illustration d'une pompe à palettes	14
Figure II.4	Illustration d'une pompe à piston	15
Figure II.5	Illustration d'une pompe immergée	15
Figure II.6	Constitution d'une pompe centrifuge	16
Figure II.7	Pompe monocellulaire à carter fendu axialement	17
Figure II.8	Illustration de station de pompage de surface et semi enterrée	21

Chapitre III : Alimentation et distribution électrique de la station

Figure III.1	Image des deux transformateurs de puissance	29
Figure III.2	Plaques signalétiques des deux transformateurs de puissance	30
Figure III.3	Relais de protection des deux transformateurs 800 kVA et 6 MVA	31

Chapitre IV : Dimensionnement de la station de pompage

Figure IV.1	Station de pompage SP1-1	35
Figure IV.2	Courbes de réseau et de fonctionnement des pompes de la station SP1-1	39
Figure IV.3	Condensateurs utilisés pour la correction du facteur de puissance	43

LISTE DES TABLEAUX

Liste des Tableaux

Chapitre I : Présentation de l'installation de dessalement d'eau de mer

Tableau I.1	Identification de l'entreprise	03
Tableau I.2	Population et demande en eau	04

Chapitre II : Généralités sur les stations de pompage

Tableau II.1	Liste des pompes utilisées dans la station de pompage	18
Tableau II.2	Organe d'entrainement	19

Chapitre III : Alimentation et distribution électrique de la station

Tableau III.1	Caractéristiques du TEK Transformatör	29
Tableau III.2	Caractéristiques du transformateur Electro Industries	30

Chapitre IV : Dimensionnement de la station de pompage

Tableau IV.1	Relations usuelles pour le calcul de la compensation d'énergie	43
Tableau IV.2	Grandeurs électriques des équipements de la partie basse tension	45
Tableau IV.3	Bilan de puissance équipements partie basse tension	46
Tableau IV.4	Bilan de puissance totale	46
Tableau IV.5	Données de départ	48
Tableau IV.6	Tableau comparatif – Amélioration du facteur de puissance	49
Tableau IV.7	Choix des condensateurs de compensation	50
Tableau IV.8	Bilan de consommation électrique par poste de la station de pompage	51
Tableau IV.9	Caractéristiques électriques d'une pompe	52
Tableau IV.10	Différentes puissances des pompes	52

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

L'eau potable est devenue un enjeu majeur à l'échelle mondiale, notamment dans les régions où les ressources naturelles en eau douce sont limitées. Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer apparaît comme une solution indispensable pour répondre aux besoins croissants des populations et soutenir le développement économique. Grâce aux progrès technologiques, il est aujourd'hui possible de produire de l'eau potable de qualité à partir de ressources marines, en assurant des procédés performants et durables.

La station de dessalement de Tighremt, située dans la wilaya de Béjaïa, s'inscrit pleinement dans cette dynamique. Elle a pour mission principale de traiter l'eau de mer afin de fournir une eau potable conforme aux normes en vigueur, tout en répondant aux besoins grandissants de la région. Quant à la station pompage, elle assure le déplacement de l'eau dessalée garantissant ainsi la continuité du processus de production.

Le bon fonctionnement de la station de pompage repose sur une conception rigoureuse, tant sur le plan hydraulique qu'électrique. Le choix des électropompes, leur dimensionnement, l'alimentation électrique, ainsi que les équipements de commande et de protection sont autant d'éléments qui doivent être minutieusement étudiés pour garantir la fiabilité et l'efficacité de l'installation.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre projet de fin d'études, qui porte sur l'étude détaillée de la station de pompage dédiée à la station de dessalement de Tighremt. À travers cette étude, nous nous attacherons à analyser l'organisation générale de l'installation, à comprendre le fonctionnement des différents équipements électromécaniques et électriques, et à évaluer la pertinence des choix techniques réalisés.

Pour structurer notre travail, dans un premier chapitre, nous présenterons l'installation de dessalement de Tighremt et son importance stratégique. Le deuxième chapitre sera dédié aux généralités sur les stations de pompage, en abordant les principes de fonctionnement des électropompes et de leurs auxiliaires. Dans le troisième chapitre, nous nous concentrerons sur le dimensionnement hydraulique et électromécanique de la station de pompage. Enfin, le quatrième chapitre traitera du dimensionnement de la station de pompage et d'une éventuelle compensation.

Au terme de cette étude, une conclusion générale viendra synthétiser les résultats obtenus et proposer des perspectives d'amélioration pour une meilleure performance de la station.

CHAPITRE

I

Chapitre I

Présentation de l'installation de dessalement d'eau de mer

I.1 Introduction

Dans de nombreuses régions du monde, les ressources en eau douce sont soit inexistantes, soit devenues insuffisantes sous l'effet combiné de la croissance démographique, du développement économique et de l'urbanisation. Depuis 1950, la population mondiale est passée d'environ 2,5 milliards d'habitants à plus de 8 milliards en 2025, exerçant ainsi une pression accrue sur les ressources hydriques naturelles. [1]

Dans ce contexte, le dessalement de l'eau est devenu une solution stratégique. Ce procédé permet d'obtenir de l'eau potable ou de l'eau douce à partir d'eau saumâtre ou d'eau de mer, offrant une réponse concrète aux besoins croissants en eau. Il contribue ainsi à surmonter les pénuries, à soutenir le développement des secteurs agricoles, industriels et urbains, et à améliorer les conditions de vie dans les régions touchées par le stress hydrique. [2]

Dans ce chapitre, nous retracerons l'historique du développement du dessalement, en mettant en évidence les principales technologies utilisées et l'implantation des usines de dessalement, sur le territoire Algérien.

I.2 Localisation et rôle de l'installation

La station de dessalement de Tighremt est implantée dans la commune de Toudja, à environ 30 kilomètres à l'ouest de la ville de Béjaïa. Ce projet stratégique a été lancé en juin 2022, avec une mise en service prévue au deuxième semestre de l'année 2025.

L'objectif principal de cette installation est de renforcer l'approvisionnement en eau potable pour une large partie de la région. Elle vise notamment à alimenter en eau potable 52 communes de la wilaya de Béjaïa.

En plus de cela, trois autres wilayas bénéficieront de l'eau produite, notamment, la wilaya de Sétif avec un volume estimé à 50 000 m³/jour, la wilaya de Bouira avec 30 000 m³/jour et la wilaya de Bordj Bou Arreridj avec 20 000 m³/jour.

L'Osmose inverse (Reverse Osmosis) est la méthode optée pour le dessalement de l'eau de mer à la station de Tighremt qui s'étend sur une superficie d'environ 10 hectares, avec une capacité de production de 300 000 m³ d'eau potable par jour, ce qui permettra de répondre aux besoins de près de 3 millions de citoyens.

I.3 Présentation de l'organisme d'accueil

I.3.1 Historique et mission

Le groupe COSIDER a été créé en 1979 sous forme de société d'économie mixte, issue d'un partenariat entre la Société Nationale de Sidérurgie (SNS) et le groupe danois Christiani & Nielsen. En 1982, la SNS est devenue l'actionnaire unique, faisant de COSIDER une entreprise nationale. En 1984, elle est placée sous la tutelle du Ministère de l'Industrie Lourde, avant d'être transformée en société par actions en octobre 1989.

Tableau I.1 : Identification de l'entreprise

Nom : Groupe Industriel COSIDER		Entreprise Publique Économique (EPE) Société par actions (SPA)	
	Créée le :	1er janvier 1979	www.cosider-groupe.dz
Activité de :			Travaux publics, Construction, Génie civil, Hydraulique, Energie, Maintenance
Siège social :			Route Nationale N°36, Chéraga, Alger, Algérie

COSIDER est aujourd'hui un acteur majeur dans la réalisation des infrastructures industrielles et publiques en Algérie. Sa mission est de contribuer au développement national par la construction, la maintenance et la gestion d'ouvrages complexes, notamment dans les domaines de l'eau, de l'énergie, et des travaux publics.

I.3.2 Organisation et domaines d'intervention

Le groupe est structuré en plusieurs filiales spécialisées couvrant divers secteurs : travaux publics, construction, canalisations, carrières, énergie, maintenance, et ingénierie. Chaque filiale opère dans un domaine précis, ce qui permet au groupe de couvrir l'ensemble des besoins en construction et maintenance d'infrastructures complexes.

En hydraulique, COSIDER intervient dans la construction et la maintenance de stations de pompage et de traitement d'eau, les réseaux d'adduction et de distribution d'eau potable, les stations d'épuration et d'assainissement, les travaux de protection contre les inondations et la réalisation de stations de dessalement d'eau de mer ou saumâtre

I.3.3 COSIDER et la station de pompage de Tighremt

La méthodologie d'exécution envisagée par COSIDER Canalisations et d'exposer les différentes mesures à prendre pour réaliser l'objet du présent marché, à savoir le raccordement en aval de la station de dessalement d'eau de Mer de Bejaia d'une capacité de 300 000 m³/j.

La première tranche, ou lot n°1 du projet, consiste en la réalisation du transfert de l'eau depuis l'unité de dessalement jusqu'au point de bifurcation. Les travaux portent sur la réalisation des ouvrages suivants :

- Anti-béliers et raccordement de la chambre de départ;
- Fourniture et pose de conduites de linéaires 18.5 km de DN, inclus les ouvrages en lignes (ventouses, vidanges, vannes, ...);
- Réalisation d'un (01) réservoir d'une capacité de stockage de 50 000 m³ et d'un autre d'une capacité de 25 000m³ ;
- Réalisation d'une station de pompage ayant les caractéristiques : Q =758 l/s HMT = 136 m avec une bâche d'aspiration de 25 000 m³;
- Protection cathodique des conduites ;
- Un système de télétransmission.

I.4 Présentation du projet

L'aire d'étude du projet couvre un total de 69 communes, réparties sur quatre wilayas du nord-est algérien, à savoir 35 communes dans la wilaya de Bejaïa, 15 communes dans la wilaya de Bouira, 6 communes dans la wilaya de Sétif et 13 communes dans la wilaya de Bordj Bou Arréridj (BBA). Cette zone d'intervention est caractérisée par une croissance démographique continue, nécessitant une planification rigoureuse des besoins en eau potable à court, moyen et long termes.

Tableau I.2 : Population et demande en eau

Wilaya	Populations			Demande en Eau		
	En 2022	En 2035	En 2035	En 2022	En 2035	En 2050
Bejaia	811 779	949 450	1 145 031	275 871	387 848	542 178
Bouira	320 777	377 987	458 648	79 544	124 231	177 804
Sétif	57 874	61 549	66 095	16 137	18 677	21 236
BBA	130 643	144 131	162 040	33 730	41 531	49 438
Total	1 321 073	1 533 177	1 831 814	405 281	572 287	790 656

Le tableau (I.2) résume une synthèse des projections de population ainsi que des estimations de la demande en eau pour les wilayas concernées, sur la période allant de 2022 à 2050. Il est important de noter que, Hormis Bejaia, les autres wilayas, seules certaines communes sont concernées par cette distribution d'eau dessalée. [10]

Les photographies présentées à la figure (I.1) illustrent les travaux réalisés sur le site. Quant à la figure (I.2), elle offre une vue d'ensemble permettant de se situer dans l'espace et d'apprécier l'ampleur du projet concerné.



Figure I.1 : Station de dessalement en cours de réalisation

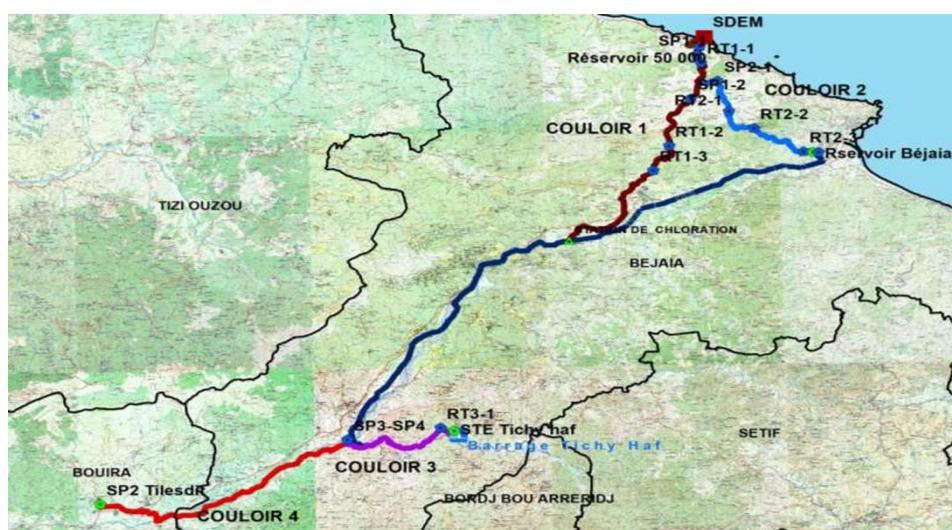


Figure I.2 : Vue en plan du schéma de raccordement aval de la SDEM aux systèmes existants.

I.5 Définition du dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau de mer est une solution stratégique pour répondre aux besoins croissants en eau potable, en particulier dans les régions arides ou soumises à un stress hydrique sévère. Ce procédé consiste à retirer les sels et les minéraux dissous présents dans l'eau de mer afin d'obtenir de l'eau douce, principalement destinée à la consommation humaine, à l'irrigation agricole et aux usages industriels.

Parmi les technologies de dessalement, l'osmose inverse et la distillation thermique sont les plus couramment utilisées. L'osmose inverse utilise des membranes semi-perméables pour filtrer les sels, tandis que la distillation thermique repose sur l'évaporation et la condensation de l'eau. Ces procédés ont connu une évolution continue en termes d'efficacité et de coût, rendant le dessalement plus accessible. [3-4]

Cependant, le dessalement reste énergivore et peut avoir des impacts environnementaux, notamment liés au rejet de saumure concentrée dans les milieux marins. La saumure, qui est deux fois plus salée que l'eau de mer habituelle, peut entraîner un déséquilibre dans la composition chimique de l'eau de mer, affectant la biodiversité et les écosystèmes marins. [3]

De plus, la variabilité de la salinité de l'eau selon les zones géographiques influe sur les choix technologiques et les coûts de traitement. Par exemple, dans les mers chaudes et semi-fermées, la salinité peut être plus élevée, ce qui nécessite des ajustements dans les procédés de dessalement pour maintenir leur efficacité et réduire les impacts environnementaux. [5-6]

I.6 Historique et origine du dessalement de l'Eau de Mer

Le dessalement de l'eau de mer remonte à l'Antiquité, où les premières tentatives de purification de l'eau salée ont été réalisées principalement à des fins de consommation humaine. Les civilisations grecques et romaines utilisaient déjà des méthodes rudimentaires comme la distillation solaire pour séparer le sel de l'eau. Ces façons, bien que primitifs, témoignaient d'un besoin pressant de rendre l'eau de mer potable dans des contextes de rareté d'eau douce. [5]

Au XIXe siècle, des avancées majeures apparaissent, notamment en 1852, grâce au chimiste britannique Sir John Herschel. Il développe une méthode utilisant l'énergie solaire pour évaporer l'eau de mer et condenser la vapeur en eau douce. Ce principe est ensuite repris et appliqué dans certaines régions coloniales ou arides, où l'accès à l'eau douce était limité. [4]

Le XXe siècle marque une nouvelle ère pour le dessalement avec l'urbanisation rapide et l'essor industriel mondial. C'est dans les années 1960 que l'osmose inverse est introduite,

apportant une réponse technologique plus efficace pour le traitement de l'eau de mer. Cette innovation ouvre la voie à des projets industriels de grande envergure dans les pays du Golfe, comme l'Arabie Saoudite ou le Koweït, où les réserves en eau naturelles sont très limitées. [6]

Aujourd'hui, le dessalement est considéré comme une solution incontournable pour répondre aux pénuries d'eau dans les régions soumises à un stress hydrique sévère, notamment en Afrique du Nord. Les efforts de recherche et développement s'intensifient pour améliorer les performances des installations de dessalement, réduire leur consommation énergétique et limiter leurs impacts environnementaux, en particulier sur les milieux marins. [4]

I.7 Technologies utilisées dans le dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau de mer repose aujourd'hui sur plusieurs technologies majeures, développées pour améliorer le rendement, réduire la consommation énergétique et limiter les impacts environnementaux. Les deux grandes familles de procédés sont les techniques thermiques et les techniques membranaires.

I.7.1 Les technologies thermiques

La distillation multi-effets (MED - Multi Effect Distillation) et la distillation multi-étages flash (MSF - Multi Stage Flash), utilisent la chaleur pour évaporer l'eau de mer et condenser la vapeur en eau douce. Ces méthodes sont particulièrement répandues dans les régions du Golfe où l'énergie thermique est disponible à faible coût. [7]

Dans le procédé MSF, l'eau est chauffée à haute température puis introduite dans des chambres à basse pression où elle s'évapore instantanément. Le procédé MED repose quant à lui sur une série d'évaporateurs fonctionnant à des pressions décroissantes, ce qui permet de récupérer une partie de l'énergie thermique et d'améliorer le rendement global. [8]

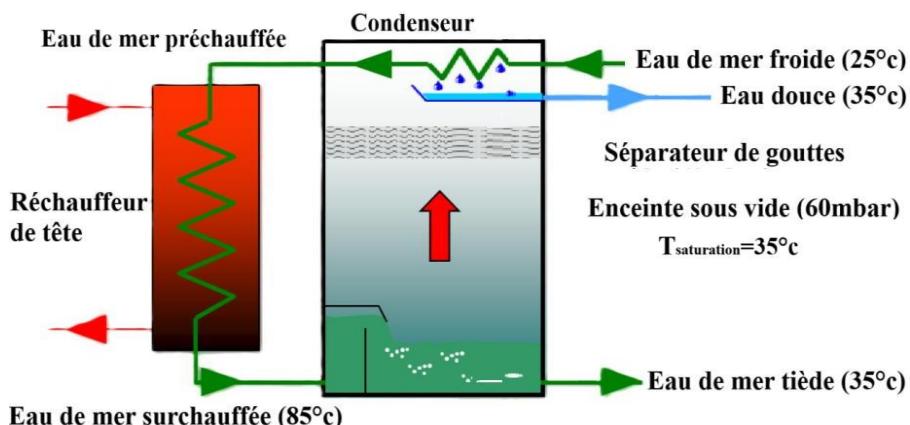


Figure I.3 : Dessalement d'eau de mer par la technologie thermique.

I.7.2 Les technologies membranaires

La technologie de l'osmose inverse (RO - Reverse Osmosis) est aujourd'hui la plus utilisée à travers le monde.

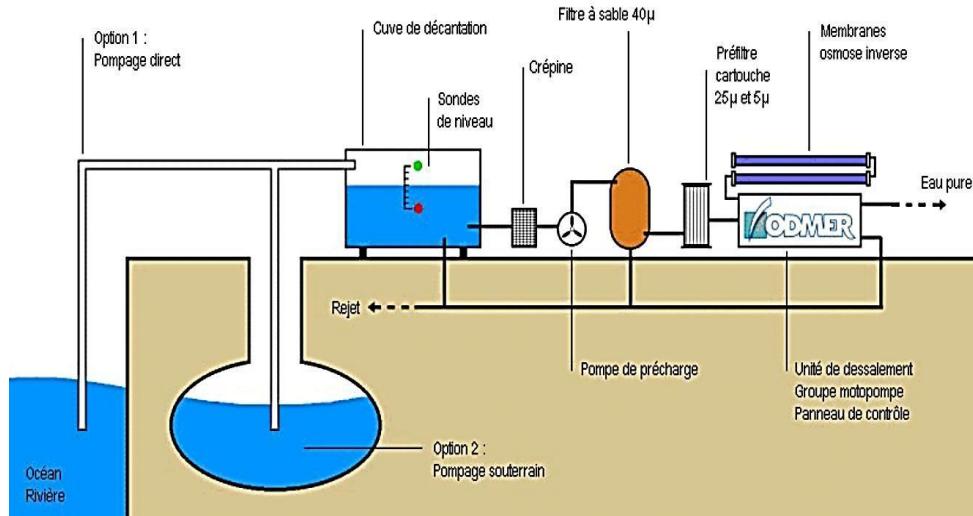


Figure I.4 : Dessalement d'eau de mer par la technologie membranaire. [12]

Ce procédé fait passer l'eau de mer sous haute pression à travers des membranes semi-perméables qui retiennent les sels dissous et les autres impuretés, produisant ainsi de l'eau potable. L'osmose inverse présente l'avantage d'avoir une consommation énergétique inférieure aux procédés thermiques et nécessite des investissements moindres en infrastructures. [8-9]

I.7.3 Les technologies émergentes

D'autres technologies émergentes, telles que l'osmose directe, l'électrolyse inversée et les procédés hybrides combinant thermique et membranaire, sont actuellement en cours de développement pour améliorer encore davantage l'efficacité énergétique et réduire le coût global de l'eau dessalée. De plus, l'intégration des énergies renouvelables (solaire, éolien) dans les stations de dessalement constitue une tendance forte pour rendre ces installations plus durables. [7]

I.8 Principe de fonctionnement de l'osmose et de l'osmose inverse

L'osmose est un phénomène naturel où l'eau se déplace à travers une membrane semi-perméable, allant d'une solution faiblement concentrée en sels vers une solution plus concentrée. Cette membrane laisse passer l'eau ainsi que certains petits ions, tout en bloquant la majorité des solides dissous. Ce processus tend à équilibrer la concentration de chaque côté de la membrane. [8]

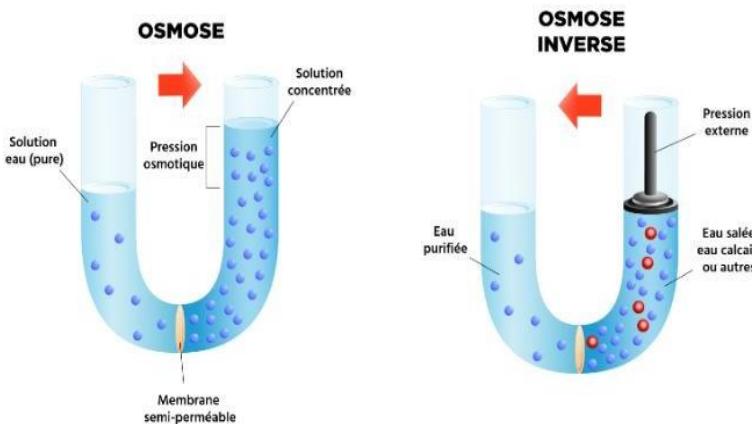


Figure I.5 : Phénomène de l'osmose et l'osmose inverse

À l'inverse du phénomène naturel, l'osmose inverse consiste à appliquer une pression supérieure à la pression osmotique sur la solution la plus concentrée. Cette force constraint l'eau à circuler dans le sens opposé de l'osmose naturelle, traversant la membrane depuis la solution salée vers la solution moins concentrée [8].

Grâce à ce mécanisme, l'eau douce est séparée efficacement des sels et autres impuretés. L'eau ainsi produite est collectée d'un côté de la membrane, tandis que les solides dissous, concentrés, restent de l'autre côté. Ce procédé est aujourd'hui le plus répandu pour le dessalement d'eau de mer, car il offre un excellent compromis entre coût énergétique et qualité de l'eau obtenue.

I.9 Fonctionnement technique de la station de Tighremt

La station de dessalement de Tighremt utilise la technologie d'osmose inverse (Reverse Osmosis), largement reconnue pour son rendement élevé et la qualité de l'eau produite. Ce choix s'explique par les conditions favorables du site, notamment, sa proximité immédiate avec la mer et ainsi que par l'objectif de maîtriser durablement les coûts d'exploitation. [10]

Le traitement de l'eau de mer dans cette station suit une série d'étapes bien définies :

- **Captage de l'eau de mer** : L'eau est prélevée en milieu littoral à travers des prises protégées par des grilles, évitant ainsi l'intrusion de gros débris et organismes marins.
- **Prétraitement** : Cette phase comprend la filtration mécanique, la régulation du pH, ainsi que l'élimination des matières organiques et colloïdales, afin de préserver l'intégrité des membranes d'osmose inverse.
- **Pompage haute pression** : L'eau prétraitée est ensuite soumise à une pression élevée, généralement entre 60 et 70 bars, à l'aide de pompes puissantes et écoénergétiques.

- **Filtration membranaire** : Sous cette pression, l'eau traverse des membranes semi-perméables qui retiennent les sels dissous et autres impuretés, permettant ainsi l'obtention d'une eau douce de haute qualité.
- **Post-traitement** : L'eau produite subit une reminéralisation pour répondre aux normes sanitaires et assurer une bonne stabilité chimique et gustative lors de sa distribution.
- **Rejet de saumure** : La saumure résiduelle, fortement concentrée en sels, est rejetée dans le milieu marin à distance des zones sensibles, conformément à des normes environnementales strictes visant à limiter l'impact sur l'écosystème.
- **Soutien à l'agriculture** : en complément, les eaux mobilisées à partir des barrages de Tichy Haf (173 millions m³) et Lakehal (30 millions m³) seront utilisées pour l'irrigation des zones agricoles de la vallée de la Soummam et de la plaine d'El Asnam, contribuant ainsi à soulager la pression exercée sur les ressources hydriques conventionnelles.

I.10 Enjeux environnementaux et stratégies de réduction des impacts

Comme toute infrastructure de dessalement, la station de Tighremt présente des défis environnementaux majeurs, notamment liés : [10]

- **Au rejet de la saumure** : cette eau fortement salée, résidu du processus de dessalement, doit être rejetée en mer avec précaution. Des dispositifs de dilution et des études d'impact environnemental approfondies sont nécessaires pour limiter ses effets sur la biodiversité marine.
- **À la consommation énergétique** : bien que la station intègre des systèmes de récupération d'énergie pour optimiser son rendement, la production d'eau dessalée reste globalement énergivore.
- **À la préservation des écosystèmes marins** : un suivi régulier de la qualité des eaux rejetées est mis en place pour prévenir toute perturbation des habitats aquatiques.

Pour atténuer ces impacts, plusieurs mesures correctives ont été intégrées dès la phase de conception :

- Adoption de technologies à haute efficacité énergétique afin de réduire la consommation globale.
- Utilisation de matériaux et produits chimiques écocompatibles, moins agressifs pour les milieux naturels.

- Mise en place de systèmes automatisés de contrôle et de capteurs intelligents pour assurer un monitoring en continu de la qualité de l'eau produite et des rejets en mer.

I.11 Perspectives d'évolution et intégration durable

La station de dessalement de Tighremt s'inscrit dans une stratégie globale de gestion durable et intégrée des ressources en eau, avec une vision résolument tournée vers le long terme. Elle répond aux défis croissants liés à la raréfaction des ressources hydriques, tout en s'adaptant aux dynamiques démographiques et climatiques. Parmi les perspectives de développement, l'intégration progressive de sources d'énergie renouvelable, telles que l'énergie solaire et éolienne, est à l'étude. Cette orientation vise à renforcer l'autonomie énergétique de l'installation, à optimiser ses coûts de fonctionnement et à réduire son empreinte carbone. [10]

En parallèle, le caractère modulaire de la station offre la possibilité de procéder à des extensions en fonction de l'évolution des besoins en eau potable, notamment en réponse aux épisodes de sécheresse ou à l'urbanisation croissante.

Au-delà de sa fonction de production, la station aspire également à devenir un pôle d'innovation. Elle entend participer à des projets de recherche appliquée portant, entre autres, sur l'optimisation des performances des membranes d'osmose inverse et sur la valorisation des sous-produits tels que la saumure. À travers ces initiatives, la station de Tighremt se positionne comme un acteur engagé dans le développement de solutions de dessalement plus durables, efficaces et respectueuses de l'environnement. [10]

I.12 Conclusion

La station de dessalement de Tighremt représente un projet d'envergure nationale, pensé pour répondre aux défis cruciaux liés à la disponibilité et à la gestion de l'eau potable. Grâce à la technologie de l'osmose inverse et à une infrastructure robuste, elle permettra d'alimenter durablement des millions de citoyens répartis sur quatre wilayas, tout en s'intégrant dans une logique de complémentarité avec les autres ressources hydriques existantes.

La station de Tighremt s'inscrit également dans une perspective de durabilité et d'innovation technologique. Elle anticipe les besoins futurs par une conception modulaire et une volonté affirmée d'intégrer les énergies renouvelables, tout en menant des actions concrètes de réduction des impacts environnementaux. À travers ce projet, l'Algérie confirme son engagement vers une gestion intégrée et résiliente de l'eau, capable de répondre aux exigences économiques, sociales et écologiques.

CHAPITRE

II

Chapitre II

Généralités sur les stations de pompage

II.1 Introduction

L'accès à l'eau, qu'elle soit destinée à l'irrigation, à l'alimentation en eau potable ou à des usages industriels, passe souvent par des systèmes complexes qui doivent assurer son transport sur de longues distances ou vers des altitudes plus élevées. Parmi ces systèmes, les stations de pompage occupent une place centrale. Elles permettent de mobiliser l'eau depuis son point de prélèvement jusqu'à son lieu d'utilisation, en maintenant les débits et pressions nécessaires [10].

Dans ce chapitre, nous allons distinguer ce qu'est réellement une station de pompage, notamment son rôle, ses différentes types, ainsi que les principaux équipements qui la composent. Nous verrons également comment sont définis et choisis ces éléments pour garantir un fonctionnement efficace, fiable et durable.

À travers cette approche, l'objectif est de mieux comprendre l'importance des stations de pompage dans l'ensemble d'un réseau hydraulique afin d'assurer un approvisionnement continu en eau, une ressource précieuse.

II.2 Définition et rôle d'une station de pompage

Le pompage est une opération essentielle dans de nombreux systèmes hydrauliques. Lorsqu'un fluide ne peut se déplacer naturellement sous l'effet de la gravité, il devient nécessaire d'utiliser des dispositifs appelés pompes pour assurer son transfert d'un point à un autre. Le rôle principal de la pompe est donc de communiquer au fluide l'énergie nécessaire à son mouvement.

Pour entraîner les organes internes de la pompe, une source d'énergie est indispensable. Cette énergie, généralement d'origine thermique ou électrique, est convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire de moteurs. Cette énergie mécanique est ensuite transmise au fluide sous forme d'énergie cinétique, qui augmente le débit du fluide ou bien sous forme d'énergie potentielle, qui se manifeste sous forme de pression. [11]

Les stations de pompage rassemblent ainsi l'ensemble des équipements permettant de réaliser cette transformation énergétique et d'assurer un transport fiable et contrôlé des fluides. Elles sont indispensables dans de nombreux domaines, tels que l'alimentation en eau potable, l'irrigation, les processus industriels, et les installations de dessalement d'eau de mer.

Le rôle principal d'une station de pompage est, entre autres, d'assurer un débit et une pression suffisants pour alimenter un réseau conformément aux besoins hydrauliques. Elle compense les pertes de charge liées à la distance, aux élévations topographiques, ainsi qu'aux pertes linéaires dans les conduites. Par ailleurs, elle contribue à la régulation du fonctionnement du réseau en facilitant le stockage, le refoulement ou la distribution de l'eau. [11]

Dans le cas de notre étude, la figure (II.1) représente le schéma synoptique global de la station de pompage situé en aval de la station de dessalement d'eau de mer de Tighremt.

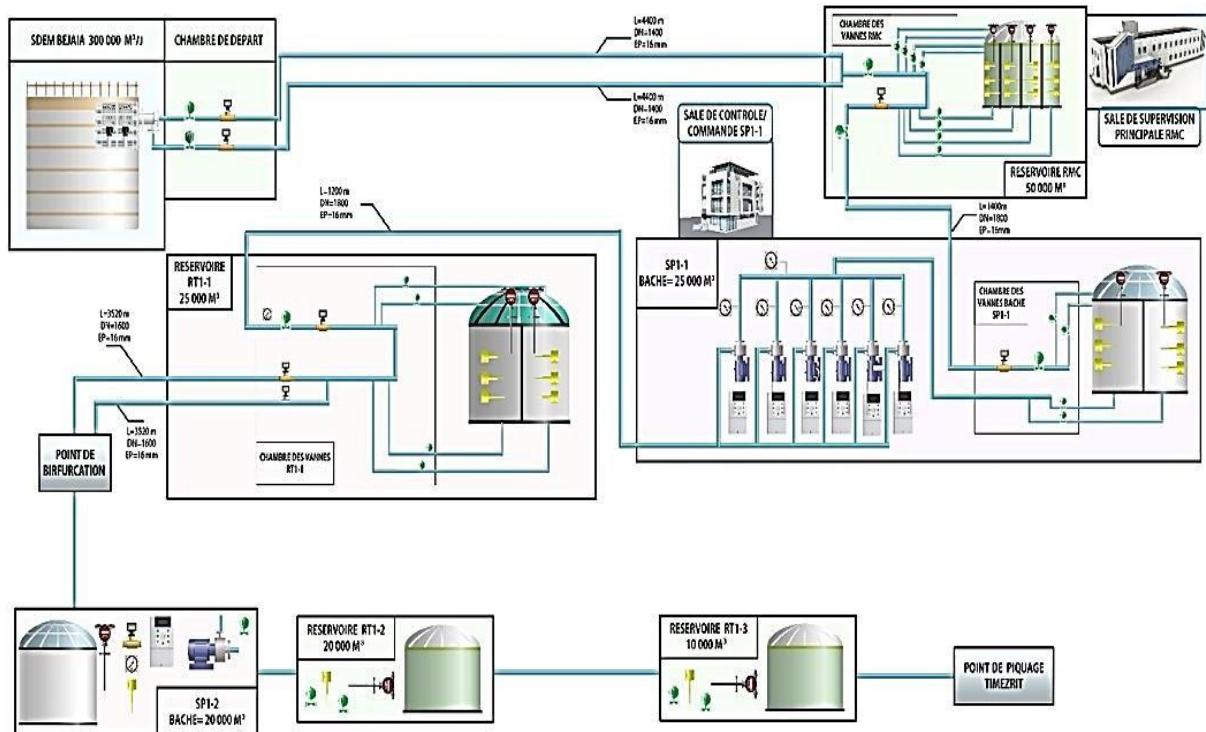


Figure II.1 : Schéma synoptique global de la station de pompage. [10]

Les stations de pompage peuvent fonctionner en continu ou par cycles, selon des commandes pilotées par pressostat, minuterie, automate ou en fonction du niveau des réservoirs. Elles peuvent également être intégrées à des réseaux complexes comportant plusieurs points de refoulement, des réservoirs intermédiaires, ainsi que des systèmes de surveillance et de contrôle.

II.3 Types de pompes utilisées dans les installations hydrauliques

Les pompes sont des éléments fondamentaux dans une station de pompage et sont choisies en fonction du débit à fournir et de la hauteur manométrique totale requise. Cependant, d'autres types de pompes sont également employés selon les exigences spécifiques de l'installation.

II.3.1 Pompe à engrenages

Les pompes à engrenages sont des pompes volumétriques à débit constant, formées de deux roues dentées tournant en sens opposé dans un carter étanche. L'une entraîne l'autre, aspirant le fluide, le transportant autour du carter, puis le refoulant sous pression. Les engrenages peuvent être internes ou externes selon l'application. [12]

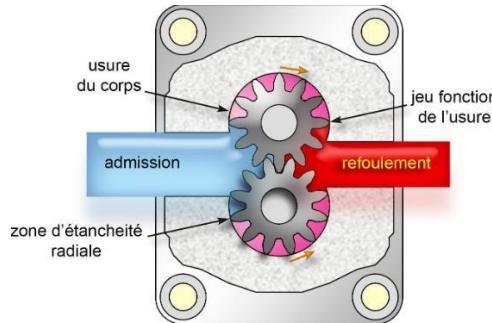


Figure II.2: Illustration d'une pompe à engrenages

Elles sont simples, compactes, faciles à entretenir et capables de s'auto-amorcer, ce qui les rend pratiques et fiables.

Cependant, elles présentent des limites, à savoir des pertes internes réduisant le rendement, un débit fixe non adapté aux besoins variables, une sensibilité aux fluides abrasifs et une pression limitée à environ 200 bars.

II.3.2 Pompe à palettes

La pompe à palettes est une pompe volumétrique rotative dotée d'un rotor excentré avec des palettes coulissantes. En tournant, ces palettes créent des chambres de volume variable, assurant un débit continu par alternance entre aspiration et refoulement. [12]

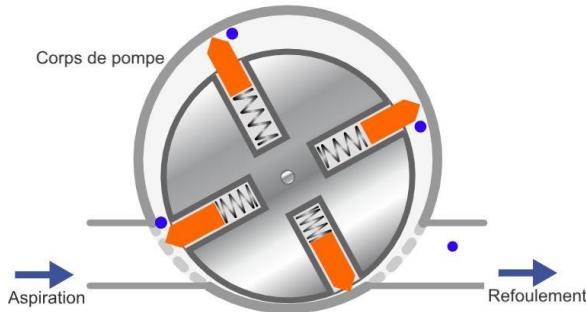


Figure II.3: Illustration d'une pompe à palettes

Elles offrent un débit stable, un fonctionnement silencieux et une bonne polyvalence, notamment pour les fluides de viscosité moyenne. Leur conception simple facilite l'entretien.

Elles restent toutefois limitées à des pressions modérées et sont sensibles aux particules solides, et leurs composants, soumis à l'usure, nécessitent un entretien régulier.

II.3.3 Pompe à pistons

La pompe à pistons est une pompe volumétrique qui utilise le mouvement alternatif de pistons pour déplacer le fluide avec précision, même à très haute pression. Elle fonctionne par cycles d'aspiration et de refoulement, et peut être à simple ou double effet. [12]

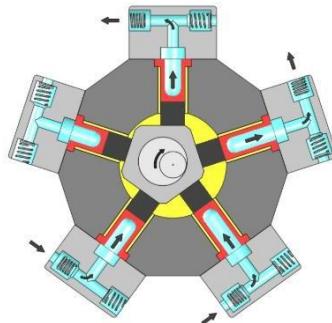


Figure II.4: Illustration d'une pompe à piston

Elle offre une haute pression, une bonne efficacité, une grande polyvalence vis-à-vis des fluides, et une durabilité élevée si bien entretenue.

En contrepartie, sa conception est plus complexe, son coût d'acquisition plus élevé, et son encombrement peut poser des contraintes selon l'installation.

II.3.4 Pompe immergée

La pompe immergée est un dispositif hydraulique conçu pour fonctionner directement dans le liquide à pomper, généralement de l'eau. Placée au fond d'un puits ou d'une citerne, elle pousse le fluide vers la surface grâce à une turbine entraînée par un moteur étanche, évitant ainsi les problèmes d'amorçage et de cavitation. [12]

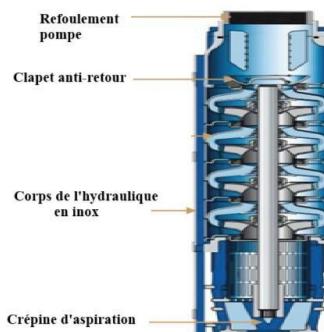


Figure II.5: Illustration d'une pompe immergée

Elle offre une bonne efficacité même à grande profondeur, un fonctionnement silencieux et sans risque de cavitation. En revanche, son installation est plus complexe, sa maintenance difficile en raison de son immersion, et elle reste sensible aux débris qui peuvent endommager la turbine.

II.3.5 Pompe centrifuge

II.3.5.1 Définition & Fonctionnement

Une pompe centrifuge utilise la force centrifuge générée par la rotation d'une roue pour mettre un liquide en mouvement et l'envoyer sous pression dans une canalisation. Ce type est courant dans les stations de pompage.

Les pompes centrifuges fonctionnent en augmentant l'énergie du fluide entre l'entrée et la sortie de la roue. Lorsqu'elle pénètre au centre de la roue, l'eau est entraînée par la rotation rapide de celle-ci. Sous l'effet de la force centrifuge, le fluide est projeté vers l'extérieur avec une augmentation de sa vitesse et de sa pression. [12]

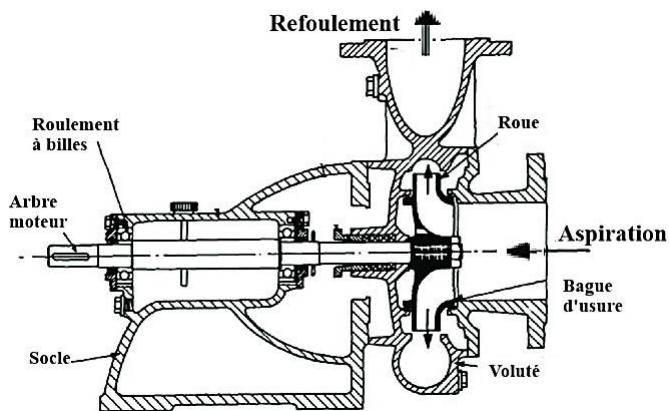


Figure II.6 : Constitution d'une pompe centrifuge

Une fois cette énergie transmise, le fluide passe dans une partie fixe située autour de la roue, appelée diffuseur, volute ou colimaçon. Le rôle de la volute est de ralentir progressivement le fluide afin de transformer son énergie cinétique en énergie de pression.

Cette transformation se fait notamment grâce à la forme élargie du canal de sortie de forme d'un cône divergent, qui permet de récupérer une grande partie de l'énergie et d'augmenter la pression du liquide avant son refoulement. [12]

II.3.5.2 Différents types de pompes centrifuges

Parmi les nombreuses configurations de pompes centrifuges utilisées en hydraulique, la pompe monocellulaire à carter fendu axialement (ou single-stage axial split case pump) se distingue par sa robustesse et sa facilité d'entretien. Dotée d'une seule roue (monocellulaire), elle est conçue pour assurer le pompage de gros débits à pression modérée.

Son corps, divisé horizontalement selon l'axe de l'arbre, permet un accès rapide aux composants internes sans devoir démonter les tuyauteries d'aspiration ou de refoulement, ce qui en fait un choix privilégié pour les stations de pompage d'eau ou les réseaux d'irrigation.

Une variante plus générale de ce type est la pompe à plan de joint axial. Également de conception horizontale, elle peut être monocellulaire ou multicellulaire, selon les besoins en pression. Grâce à l'ouverture dans le plan de joint, elle facilite l'accès à l'arbre, aux paliers et aux roues, ce qui simplifie grandement la maintenance. Ces modèles sont souvent employés dans des circuits industriels complexes, les centrales électriques pour le refroidissement, ou les installations de dessalement d'eau de mer. [12]

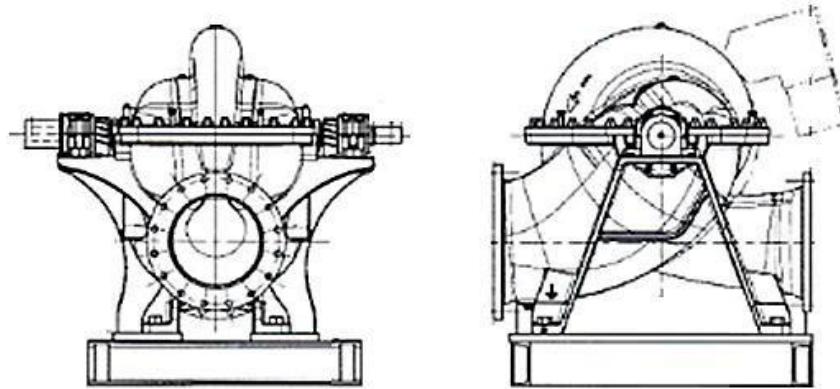


Figure II.7 : Pompe monocellulaire à carter fendu axialement

À côté de ces modèles, d'autres pompes centrifuges sont largement utilisées selon les contraintes d'installation, entre autres, la pompe en volute, compacte et adaptée aux petits réseaux, la pompe verticale en ligne, idéale dans les espaces restreints et les pompes multicellulaires horizontales ou verticales, conçues pour atteindre de hautes pressions. Le choix entre ces types dépendra notamment du débit exigé, de la hauteur manométrique, de la configuration du site et des besoins en maintenance.

II.3.5.3 Moteurs d'entraînement

Les moteurs d'entraînement fournissent l'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement des pompes. Dans la plupart des stations, il s'agit de moteurs électriques, qu'ils soient asynchrones dans la plus part des cas ou synchrones qui sont plutôt utilisés pour des besoins spécifiques de régulation ou de rendement. En l'absence d'alimentation électrique ou en cas de panne, des moteurs thermiques, généralement des moteurs diesel, peuvent être utilisés comme solution de secours pour garantir la continuité de service.

II.4 Principaux composants d'une station de pompage

Une station de pompage est constituée d'un ensemble d'équipements électromécaniques et hydrauliques conçus pour assurer le relevage, le transport ou la redistribution de l'eau. Hormis les pompes, nous retrouvons quelques composants énumérés par:

II.4.1 Pompes utilisées dans la station de pompage

Le tableau (II.1) présente les principales caractéristiques des pompes installées dans la station de pompage. Il regroupe les informations essentielles telles que le type de pompe, le débit nominal, la hauteur manométrique totale (HMT), la puissance absorbée, le rendement, ainsi que les conditions d'exploitation prévues. Ces données permettent de vérifier l'adéquation des équipements aux besoins hydrauliques de l'installation, et servent de référence pour la maintenance, le suivi des performances et les futures extensions éventuelles. [12]

Tableau II.1 : Liste des pompes utilisées dans la station de pompage [10]

Nom	ASP250 755R	ASP350 680R
Quantité	10	6
Type de pompe	Axial split pump	Axial split pump
Fluide	Eau, Eau potable	Eau, Eau potable
Débit [m ³ /h]	1705	2728
Hauteur de refoulement [m]	225	143
Température [°C]	55	55
Densité [kg/m ³]	0.9857	0.9857
Puissance absorbée [kW]	1219	1146
Vitesse [tr/mn]	1510	1450
Rendement [%]	84.39	91.48
NPSH _r	7.396	6.208
Moteur puissance nominale [kW]	1600	1800
Moteur tension [V]	5500	5500
VFD	Oui	Oui
Fréquence [Hz]	50	50

II.4.2 Réseaux de tuyauterie et organes de régulation

Le bon fonctionnement d'une station de pompage repose sur bien plus que les seules pompes. Le système de tuyauterie, comprenant les conduites d'aspiration et de refoulement, joue un rôle essentiel dans le transport efficace de l'eau. Sa conception doit être optimisée pour limiter les pertes de charge, éviter les turbulences et garantir un débit stable, tout en maintenant la performance hydraulique de l'ensemble.

À ce réseau s'ajoutent des organes de régulation et de sécurité indispensables. Les vannes d'isolement, à papillon ou à opercule, permettent d'intervenir facilement sur les équipements pour des opérations de maintenance ou en cas d'urgence. Les clapets anti-retour empêchent le reflux d'eau, tandis que les soupapes de sécurité protègent l'installation contre les surpressions. Enfin, les purgeurs d'air et ventouses préviennent l'apparition de poches d'air et les coups de bâlier, assurant ainsi la pérennité et la fiabilité du réseau.

II.4.3 Caractéristiques des moteurs utilisés

Le tableau (II.2) récapitule les caractéristiques techniques des moteurs électriques assurant l'entraînement des pompes de la station. Il inclut notamment la puissance nominale, la tension d'alimentation, la vitesse de rotation, le type de démarrage, le rendement et le facteur de puissance. Ces informations sont essentielles pour garantir la compatibilité électromécanique avec les pompes associées, optimiser la consommation énergétique et planifier les opérations de maintenance ou de remplacement. [10]

Tableau II.2 : Organe d'entraînement

M o t e u r		Normes de référence	IEC
Type de machine	NMI 500L4A BAS	Température ambiante	50 °C max
Type de moteur	rotor en cage d'écureuil	Alimentation de convertisseur	ACS580MV
Type de montage	IM 1001	Altitude, max	1000 m.a.s.I.
Degrés de protection	IP 55	Service	S1
Mode de refroidissement	IC 611	Echauffement	Class B(res)
Isolation	Class f	Cos fi	0.90
Couplage du bobinage stator	Star	Rendement	96.1%
Puissance nominale	1800 kW	Tmax /Tn	2.4
Tension	5500 V	Couplage nominal	11524 Nm
Fréquence	50Hz	Poids du rotor	1590 kg
Vitesse assignée	1491rpm	Poids total du moteur	5860 kg
Courant nominal	219A	Moment dinertie rotor	64 kgm ²

II.4.4 Commande et supervision de la station de pompage

Pour assurer un fonctionnement fiable, automatisé et énergétiquement optimisé d'une station de pompage, un ensemble d'équipements spécifiques est mis en place. Ces dispositifs couvrent la commande locale, la supervision à distance, la gestion des pompes, ainsi que la sécurité opérationnelle du système. [10]

- **Armoire d'automatisme (SP1-1)** : Elle constitue le centre de commande principal, pilotant les pompes et équipements associés. Elle intègre un modem GPS pour la synchronisation temporelle et un switch optique pour la communication via fibre optique avec d'autres installations.
- **Coffret de commande local (par pompe)** : Permet une commande manuelle ou automatique individuelle de chaque pompe, facilitant les interventions ponctuelles ou la maintenance.
- **Armoires de commande** : Gèrent le démarrage, l'arrêt et la vitesse de rotation des pompes, assurant un fonctionnement souple et précis selon les besoins du réseau hydraulique.
- **Automates programmables (API) et système SCADA** : Permettent la supervision locale ou distante, le traitement des alarmes, le pilotage d'exploitation, ainsi que l'analyse en temps réel des performances.
- **Variateurs de vitesse (VSD)** : Régulent la vitesse des moteurs selon la demande, optimisant ainsi la consommation énergétique tout en prolongeant la durée de vie des équipements.
- **Coffrets de télégestion** : Installés sur des points clés comme les réservoirs RMC, RT1-1 et la chambre de départ, ces coffrets assurent une commande décentralisée et une surveillance à distance via un réseau de communication.
- **Poste de supervision** : Situé dans la salle de contrôle, ce poste centralise l'affichage et le suivi de l'état du système, la gestion des alarmes, et l'historisation des données de fonctionnement.
- **Onduleur monophasé** : Il garantit l'alimentation de secours du poste de supervision pendant au moins une heure en cas de coupure, assurant ainsi la continuité des opérations critiques.

L'instrumentation joue un rôle essentiel dans le suivi et le contrôle d'une station de pompage. Elle comprend notamment des capteurs de pression, des débitmètres et des sondes de niveau, permettant de surveiller en temps réel l'état hydraulique de l'installation.

Ces dispositifs fournissent les données nécessaires pour un fonctionnement fiable et sécurisé. À cela s'ajoutent des systèmes d'alarme et des interfaces homme-machine (IHM), qui facilitent les interventions de maintenance et assurent une réactivité immédiate en cas d'anomalie.

Cet ensemble contribue à optimiser la performance et la sécurité de l'exploitation et forme une infrastructure complète de gestion automatisée, adaptée aux exigences modernes en matière de performance hydraulique, d'économie d'énergie et de surveillance en temps réel.

II.5 Types de stations de pompage

Le choix du type de station de pompage dépend principalement de son domaine d'application, des caractéristiques topographiques du site, ainsi que des exigences d'exploitation et de maintenance.

En fonction de ces paramètres, les stations peuvent être classées selon plusieurs critères, à savoir la disposition des équipements, le mode de fonctionnement, ou encore le type de fluide à pomper. [13]

II.5.1 Classification selon l'implantation

a) Stations en surface

Les stations de pompage de surface sont des installations conçues pour capter et acheminer de l'eau à partir d'une source située en surface, comme un fleuve, une rivière, un lac ou un réservoir. Des pompes permettent de relever l'eau d'un plan d'eau superficiel pour l'acheminer vers un système de traitement, d'irrigation, de distribution d'eau potable ou à des fins industrielles. [14]



Figure II.8 : Illustration de station de pompage de surface et semi enterrée

Avec un coût modéré, cette station présente l'avantage de ne nécessiter aucun forage profond, ce qui réduit considérablement les investissements initiaux. De plus, sa facilité d'accès rend les opérations d'entretien plus simples et moins coûteuses. Cependant, cette solution présente certaines limites, à savoir, la qualité de l'eau prélevée en surface peut être variable, voire insuffisante, en raison de risques de pollution.

Elle dépend également fortement de la disponibilité de la ressource en surface, ce qui la rend vulnérable aux aléas climatiques. En période de crue ou de sécheresse, les risques d'interruption ou de dégradation du service sont nettement accrus.

b) Stations enterrées ou semi-enterrées

Les stations de pompage enterrées ou semi-enterrées sont conçues pour être partiellement ou totalement enfouies dans le sol, ce qui permet de réduire leur impact visuel et de mieux les protéger contre les conditions climatiques extrêmes. Elles offrent l'avantage d'un meilleur fonctionnement hydraulique, notamment en limitant les pertes de charge grâce à une aspiration plus efficace. En revanche, leur coût de construction est généralement plus élevé, en raison des travaux de terrassement et de l'étanchéité à assurer. L'entretien peut aussi être plus complexe, avec un accès moins direct aux équipements. Enfin, en cas de forte pluie, elles peuvent être exposées à des risques d'inondation. [14]

II.5.2 Classification selon la disposition dans le réseau

a) Stations de relevage

Les stations de relevage sont des installations essentielles dans les réseaux d'assainissement et de distribution d'eau. Leur fonction principale est de permettre le transport des eaux usées, pluviales ou même potables, en surmontant des dénivellés topographiques ou en les acheminant vers un niveau supérieur, lorsque l'écoulement gravitaire n'est pas possible.

Elles sont équipées de pompes spéciales qui se déclenchent automatiquement en fonction du niveau d'eau détecté dans un puits de collecte. Ce type de station est indispensable dans les zones plates ou en creux, où l'eau ne peut pas s'écouler naturellement. [14]

Bien que leur installation puisse représenter un certain coût, elles assurent une continuité du service, notamment en milieu urbain. Toutefois, elles nécessitent une surveillance régulière et un entretien rigoureux pour éviter tout risque de colmatage, de panne ou de débordement.

b) Stations en ligne

Les stations de pompage en ligne sont intégrées directement dans un réseau hydraulique sous pression, généralement pour maintenir une pression constante ou l'augmenter à des points spécifiques du système.

Elles sont souvent utilisées dans les longues conduites ou dans les zones où la pression naturelle du réseau devient insuffisante pour assurer un débit adéquat. Compactes et

automatisées, ces stations fonctionnent sans bassin de stockage intermédiaire, ce qui permet une installation rapide et une réponse immédiate aux variations de demande.

Elles sont couramment utilisées dans les réseaux d'adduction d'eau potable, les systèmes de lutte contre l'incendie ou encore les installations industrielles. Cependant, leur bon fonctionnement dépend d'un dimensionnement précis et d'un entretien régulier pour éviter les pertes de charge, les vibrations ou les pannes dues à des surpressions. [13]

c) Stations de reprise

Les stations de reprise sont des installations situées entre deux réservoirs ou sur différents tronçons d'un réseau hydraulique, dans le but de relancer la pression et le débit de l'eau. Elles sont particulièrement utiles dans les systèmes à grande échelle, où la perte de charge due à la distance ou à des variations d'altitude nécessite un appui intermédiaire pour assurer un acheminement efficace de l'eau.

Ces stations interviennent souvent après un réservoir de régulation ou de stockage et permettent de maintenir la continuité et la performance du réseau, en particulier dans les zones éloignées ou en altitude. Elles sont généralement équipées de pompes commandées automatiquement en fonction du niveau de pression requis. Bien que leur fonctionnement soit fiable, elles nécessitent une bonne coordination avec le reste du réseau et un entretien régulier pour éviter tout déséquilibre hydraulique. [14]

II.5.3 Classification selon le type du fluide pompé

Les stations de pompage peuvent également être classées selon la nature du fluide à transporter, chaque type de fluide imposant des exigences techniques spécifiques en matière de conception, de matériaux et d'équipements.

a) Stations pour eau potable

Ces stations sont destinées à l'alimentation en eau destinée à la consommation humaine. Elles doivent impérativement respecter des normes sanitaires strictes, notamment la norme NF ou la certification ACS et avoir une attestation de Conformité Sanitaire. Les matériaux utilisés, en particulier pour les canalisations, les pompes et les joints, doivent garantir une absence totale de contamination et assurer la neutralité chimique du système.

b) Stations pour eaux usées

Ces installations sont conçues pour le relevage ou le transfert des eaux usées domestiques, industrielles ou pluviales.

Elles doivent être robustes face à la corrosion, à l'abrasion ainsi qu'aux solides en suspension souvent présents dans ce type de fluide. Les pompes sont généralement équipées de dispositifs anti-colmatage et sont dimensionnées pour un fonctionnement fiable dans un environnement agressif.

c) Stations industrielles ou d'irrigation

Utilisées dans les domaines agricoles et industriels, ces stations doivent s'adapter à une variabilité importante des débits et des pressions, ainsi qu'à la diversité physico-chimique des fluides pompés, c'est-à-dire des eaux chargées, des produits chimiques, des eaux salées.

Leur conception repose sur une grande flexibilité opérationnelle, souvent associée à des systèmes de régulation automatique et à des matériaux spécifiques, comme l'inox, les composites ou les plastiques techniques.

II.5.4 Classification selon le mode de fonctionnement

Le mode de fonctionnement des stations de pompage influence fortement leur efficacité énergétique, leur flexibilité et leur capacité d'adaptation à la demande. On distingue principalement deux grands types de fonctionnement, notamment à vitesse fixe et à vitesse variable.

a) Pompage à vitesse fixe

Dans ce mode, les pompes tournent à un régime constant, indépendamment des variations de débit ou de pression demandées par le réseau.

Pour ajuster le fonctionnement aux besoins réels, une régulation hydraulique par vanne, par clapet ou par by-pass, ou un système de séquencement de pompes, par une mise en marche ou un arrêt successif de plusieurs unités, est généralement utilisé. Bien que ce système soit simple et robuste, il peut engendrer des pertes d'énergie lorsque le fonctionnement n'est pas optimisé. [13-14]

b) Pompage à vitesse variable

Grâce à l'utilisation de variateurs de fréquence (VFD), la vitesse de rotation des pompes peut être ajustée en continu selon les besoins réels du réseau. Cette technologie permet une adaptation précise du débit et de la pression, offrant ainsi un meilleur confort hydraulique tout en réduisant significativement la consommation d'énergie. Le pompage à vitesse variable est particulièrement avantageux dans les installations où la demande fluctue fortement au cours de la journée.

II.6 Critères de conception

Le dimensionnement et la conception d'une station de pompage nécessitent une approche rigoureuse, joignant efficacité hydraulique, fiabilité opérationnelle et optimisation énergétique. Une station bien conçue permet non seulement de répondre durablement aux besoins du réseau, mais aussi de limiter les coûts d'exploitation et de maintenance. Les principaux critères à considérer sont les suivants :

II.6.1 Débit et hauteur manométrique totale (HMT)

Avant d'entamer un quelconque dimensionnement, il faut connaître au préalable le débit nominal, généralement déterminé en fonction des besoins journaliers, ainsi que la hauteur manométrique totale (HMT), qui comprend la hauteur géométrique, les pertes de charge linéaires liées au frottement dans les conduites, et les pertes de charge singulières, liées aux vannes, aux coudes et autres accessoires. Une marge de sécurité, généralement comprise entre 10 et 15 %, est à envisager pour anticiper les risques d'exploitation.

II.6.2 Rendement global

Le rendement d'une station de pompage dépend, notamment de la qualité du couple pompe-moteur, de la précision de l'alignement hydraulique et de la correspondance entre le point de fonctionnement réel et le point de meilleur rendement (BEP – Best Efficiency Point).

Un mauvais dimensionnement ou un fonctionnement éloigné de ce point optimal peut entraîner des pertes énergétiques importantes, des vibrations, une usure prématuée et une baisse de performance. Il est donc essentiel de sélectionner des pompes capables de fonctionner aussi près que possible de leur BEP, afin de minimiser la consommation d'énergie, réduire les coûts d'exploitation et prolonger la durée de vie des équipements.

II.6.3 Redondance et maintenance

- Pour garantir une disponibilité continue du service, notamment en cas de défaillance, il est recommandé d'installer les pompes selon une configuration **N+1**, c'est-à-dire, prévoir une pompe de secours.
- Pour pallier aux interruptions d'alimentation électrique, il est primordial d'ajouter des groupes électrogènes ou onduleurs (UPS) pour assurer la continuité d'exploitation.
- L'intégration de systèmes de surveillance préventive, à savoir des capteurs de vibration, de température, de détection de fuites, permet de limiter les interventions d'urgence et de planifier la maintenance de manière efficace.

II.6.4 Aspects énergétiques

L'énergie constitue un poste de coût majeur dans l'exploitation d'une station de pompage, représentant souvent plus de 80 % du coût total sur l'ensemble du cycle de vie de l'installation. C'est pourquoi une conception optimisée et une gestion rigoureuse sont essentielles pour réduire durablement la consommation énergétique et les charges d'exploitation.

Pour une installation bien conçue, le rendement cumulé de l'ensemble de la chaîne électromécanique, doit être supérieur à 70 %.

Hormis la sélection de pompes, l'utilisation de variateurs de vitesse (VSD) et une automatisation intelligente, il faut éviter les démarrages simultanés et répartir la charge afin de réduire les pics d'appel de courant. L'amélioration du facteur de puissance par des batteries de condensateurs est d'une importance vitale pour réduire la consommation électrique.

II.7 Normes et recommandations

La conception, l'installation et l'exploitation d'une station de pompage doivent respecter un ensemble de normes techniques, de réglementations locales et de bonnes pratiques professionnelles. Ces exigences visent à garantir la sécurité des installations, la qualité de l'eau pompée, une exploitation fiable et durable, ainsi qu'une efficacité énergétique optimale.

II.7.1 Normes internationales

- **ISO 5199 / ISO 2858** : Spécifications techniques applicables aux pompes centrifuges à usage industriel.
- **IEC 60034** : Normes relatives aux moteurs électriques (performances, essais, rendement).
- **WHO & ACS** : Recommandations sanitaires (Organisation mondiale de la santé) et **Attestation de Conformité Sanitaire** pour les équipements en contact avec l'eau potable.

II.7.2 Règles de sécurité et d'installation

- **Protection électrique** : Mise à la terre, dispositifs de protection contre les surintensités et les défauts d'isolement (disjoncteurs, relais thermiques).
- **Ventilation** : Les locaux techniques doivent être correctement ventilés pour éviter la surchauffe des moteurs et équipements électriques.

- **Accessibilité** : L'aménagement des locaux doit permettre un accès sécurisé pour la maintenance (dégagements réglementaires, planchers renforcés, dispositifs de levage ou rails de manutention).

II.8 Conclusion

Les stations de pompage jouent un rôle essentiel dans la gestion des réseaux hydrauliques, en assurant le transport efficace et fiable des fluides nécessaires à de nombreux usages. Leur conception repose sur une analyse précise des besoins en débit et en pression, une sélection rigoureuse des composants, ainsi qu'une attention particulière accordée à la maintenance et à l'optimisation énergétique.

Avec l'évolution des besoins et des contraintes, les stations intègrent désormais des technologies avancées d'automatisation et de contrôle, renforçant leur performance, leur fiabilité et leur adaptabilité face aux enjeux environnementaux et climatiques. Par ailleurs, la conformité aux normes techniques et réglementaires constitue un cadre indispensable pour garantir la sécurité, la durabilité et la qualité des installations.

Ainsi, la maîtrise des critères de conception et l'adoption de solutions innovantes permettent de répondre efficacement aux défis actuels, en assurant à la fois fiabilité hydraulique, efficacité énergétique et respect de l'environnement. Ce cadre général constitue la base incontournable pour aborder les études détaillées et le dimensionnement spécifique des stations de pompage.

CHAPITRE



Chapitre III

Alimentation et distribution électrique de la station

III.1 Introduction

L'approvisionnement électrique constitue un élément fondamental pour le bon fonctionnement d'une installation de pompage. En effet, l'énergie électrique alimente les moteurs des pompes, assurant le transfert de l'eau de la sortie de la station de dessalement jusqu'à son lieu de stockage. Toute interruption ou défaillance du système électrique peut entraîner un arrêt partiel ou total des opérations, compromettant ainsi l'ensemble du processus de dessalement de l'eau de mer.

Ce chapitre examine les différentes sources d'alimentation électrique dédiées à la station de pompage de Tighremt, ainsi que les systèmes de secours et les solutions d'automatisation. Il met en exergue l'importance de chaque composant dans le système global, afin de garantir la continuité du service en toutes circonstances et d'assurer la pérennité du système de pompage.

III.2 Sources d'alimentation électrique pour la station de pompage

III.2.1 Source d'alimentation électrique principale

La Société nationale de l'électricité et du gaz (Sonelgaz) assure de manière continue l'approvisionnement en électricité des stations de dessalement et de pompage de Tighremt.

La station de pompage est alimentée par des lignes de hautes tensions de 30 kV et par des sous-stations de transformation adaptées à ses besoins.

La fiabilité de cette alimentation électrique assure un bon fonctionnement et permet de couvrir les besoins de la base de vie ainsi que ceux de ses installations annexes.

Il aurait été judicieux d'avoir une deuxième ligne de secours provenant d'un deuxième centre d'interconnexion, pour garantir la disponibilité de l'énergie électrique en cas de coupure.

III.2.2 Source d'alimentation électrique autonome

La source d'alimentation électrique autonome désigne un système capable de générer l'énergie électrique indépendamment du réseau de distribution public de Sonelgaz.

Ce type de système est conçu pour assurer la continuité de service en cas de défaillance du réseau principal où des groupes électrogènes autonomes et insonorisés seront déployés pour assurer l'alimentation électrique de la base de vie et de ses installations annexes.

Des mâts d'éclairage mobiles (girafes lumineuses) seront également installés afin de garantir un éclairage suffisant en toutes circonstances. [10]

III.3 Caractéristiques des transformateurs de puissance

La station de pompage utilise plusieurs transformateurs pour adapter la tension délivrée par Sonelgaz (30 kV) à une tension utilisable pour les équipements de la station, généralement 400 V en basse tension. [10]

La figure (III.1) représente les photos de ces deux transformateurs.



Figure III.1: Image des deux transformateurs de puissance

III.3.1 Transformateur n°1 – TEK Transformatör

Le premier transformateur est un transformateur de fabrication turque (TEK Transformatör - Made in Turkey) de grande puissance qui est utilisé pour alimenter une charge importante. Le tableau (III.1) représente la plaque signalétique qui détaille les diverses grandeurs de ce transformateur.

Tableau III.1 : Caractéristiques du TEK Transformatör

TEK Transformatör		Made in Turkey	
Tensions nominales		Puissance nominale	6000 kVA
Tension primaire (HV)	30 kV	Fréquence	50 Hz
Tension secondaire (LV)	06 kV	Groupe de couplage	Dyn11
Courants nominaux		Impédance	8,08 %
Haute tension	115,47 A	Poids total	12 960 kg
Basse tension	577,4 A	Refroidissement	ONAN

Ce transformateur est équipé d'un système de réglage de tension avec 5 positions de réglage de 31 500 V à 28 500 V par prises (tap changer) en position hors tension. Le transformateur est rempli d'huile isolante NYNAS NITRO LYRA X et est hermétiquement fermé. Le refroidissement ONAN est à l'huile, à circulation naturelle d'air.[10]

III.3.2 Transformateur n°2 – Electro Industries (Made in Algeria)

Ce transformateur de taille moyenne est fabriqué localement par Electro Industries à Azazga, il alimente des équipements internes de la station en basse tension.

Le tableau (III.2) représente la plaque signalétique qui détaille les diverses grandeurs de ce transformateur.

Ce transformateur est équipé d'un système de réglage de 31 500 V à 28 500 V. L'huile utilisée est une huile minérale ayant comme norme NF EN 20296. Le refroidissement ONAN est à l'huile, à circulation naturelle d'air.

Tableau III.2 : Caractéristiques du transformateur Electro Industries

Electro Industries		Made in Algeria	
Tensions nominales		Puissance nominale	800 kVA
Tension primaire (HV)	30 kV	Fréquence	50 Hz
Tension secondaire (LV)	400 V	Groupe de couplage	Dyn11
Courants nominaux		Tension de court-circuit	6,01 %
Haute tension	15.4 A	Poids total	2,47 t
Basse tension	1155 A	Refroidissement	ONAN



Figure III.2: Plaques signalétiques des deux transformateurs de puissance

III.4 Dispositifs de protection installés

Le relais de protection numérique joue un rôle clé dans les installations électriques moyenne et haute tension. Sa mission est de surveiller en temps réel le réseau, de détecter rapidement les défauts comme les courts circuits ou les surcharges, et de protéger les équipements sensibles tels que les transformateurs, les lignes électriques ou les moteurs. Grâce à lui, on évite les dégâts matériels importants, les coupures longues et les risques pour le personnel. [10]



Figure III.3: Relais de protection des deux transformateurs 800 kVA et 6 MVA

Le relais de protection numérique SEPAM de Schneider Electric est un appareil largement utilisé dans les installations industrielles, notamment pour la protection des réseaux de moyenne tension. Fiable et modulable, il s'adapte à différentes applications comme la protection des transformateurs, des moteurs ou encore des lignes électriques. Ce qui fait sa force, c'est sa capacité à combiner plusieurs fonctions en un seul équipement.

Ce relai mesure les grandeurs électriques, détecte les défauts, communique avec les systèmes de supervision, et enregistre les événements pour faciliter le diagnostic en cas d'incident. Le SEPAM est également compatible avec plusieurs protocoles de communication standards, ce qui permet une intégration facile dans un système d'automatisation existant.

Dans notre installation, un ensemble de six armoires regroupant, « Arrivée », « Départ », « Comptage », « Protection générale », « Protection Transfo n°1 » et « Protection transfo n°2 » sont une solution complète qui contribue à renforcer la sécurité, la performance et la continuité de service des installations électriques. [10]

III.5 Distribution électrique interne de la station de pompage

L'architecture du réseau électrique interne inclut des armoires de protection et de distribution garantissant la sécurisation des circuits. L'ensemble des armoires électriques et du réseau de distribution devra être conforme aux exigences réglementaires en vigueur, notamment au décret du 14 novembre 1988 et à la norme NFC 15-100.

La distribution de l'énergie électrique vers les bâtiments et les différentes installations sera assurée par un réseau sécurisé de type enterré. Celui-ci comprendra des câbles armés, des gaines de protection, des transformateurs de courant, des tableaux électriques, des fusibles, des disjoncteurs et relais assurent la sécurité du transformateur et des équipements contre les surintensités ou autres anomalies.

L'éclairage des voies de circulation, des accès, des postes de travail et l'éclairage général seront conçus de telle sorte à supprimer toutes les zones obscures.

Enfin, pour faire face aux éventuelles interruptions du réseau principal, des groupes électrogènes de secours sont prévus pour assurer la continuité de l'alimentation électrique et ainsi éviter toute interruption du pompage. [10]

III.6 Dispositifs de protection

Pour garantir une sélectivité efficace sur trois niveaux et ainsi éviter les coupures simultanées en cascade lors d'un défaut à la terre, il est impératif d'adopter une coordination précise des dispositifs différentiels. Au niveau des circuits terminaux, la protection doit être assurée par des dispositifs différentiels à haute sensibilité (DDR) de 30 mA à déclenchement instantané, afin de protéger les personnes contre les contacts directs ou indirects.

À un niveau intermédiaire, un DDR de 30 mA avec un temps de retard de 50 millisecondes permet de différencier les déclenchements et d'assurer la continuité de service. Enfin, en tête d'installation, au pied de colonne par exemple, la protection doit être assurée par un dispositif différentiel de type sélectif avec un calibre de 1 A et un temps de retard d'au moins 0,2 seconde. Cette hiérarchisation temporelle et en sensibilité permet d'assurer la sélectivité verticale et d'éviter les coupures générales en cas de défaut localisé.

III.7 Contrôle périodique – maintenance

L'installation électrique provisoire du chantier doit faire l'objet de vérifications périodiques par un organisme agréé, conformément à la réglementation en vigueur. Ces contrôles sont obligatoires au démarrage du chantier, puis renouvelés chaque année, ainsi qu'à chaque modification ou extension du réseau électrique.

La responsabilité de la maintenance de l'installation électrique générale incombe exclusivement à l'entreprise COSIDER Canalisations, qui en assure également la mise en place initiale. Seule cette entreprise est habilitée à intervenir pour les opérations de remise en état, garantissant ainsi la conformité et la sécurité de l'installation tout au long de la durée du chantier. [10]

III.8 Conclusion

L'alimentation et la distribution électrique de la station de pompage de Tighremt jouent un rôle central dans le bon fonctionnement du processus global de dessalement de l'eau de mer.

Ce chapitre a permis de détailler les différentes sources d'énergie, qu'elles soient principales ou autonomes, ainsi que les dispositifs de transformation et de protection mis en place pour garantir la continuité de service. La fiabilité du réseau électrique, renforcée par l'usage de transformateurs adaptés, de relais de protection numériques et d'un réseau de distribution sécurisé, est essentielle pour prévenir tout arrêt de l'installation.

Par ailleurs, l'intégration de groupes électrogènes de secours et la mise en œuvre d'une sélectivité rigoureuse assurent une meilleure résilience face aux pannes. Enfin, la maintenance régulière, confiée à une entreprise spécialisée et appuyée par des contrôles réglementaires, constitue une garantie supplémentaire de sécurité et de performance. L'ensemble de ces éléments contribue à assurer une alimentation électrique stable, sûre et durable, indispensable au fonctionnement optimal de la station.

CHAPITRE

IV

Chapitre IV

Dimensionnement de la station de pompage

IV.1 Introduction

La conception d'une station de pompage repose sur un dimensionnement précis, garantissant non seulement le bon fonctionnement du système hydraulique, mais aussi sa longévité, sa rentabilité et son efficacité énergétique. Cela permet de définir avec exactitude les paramètres techniques des composants essentiels, en veillant à répondre aux exigences du projet tout en maîtrisant les coûts d'installation et d'exploitation.

Dans le cas particulier de la station de pompage de Tighremt, située en aval de l'unité de dessalement d'eau de mer, plusieurs éléments clés doivent être pris en considération à savoir, le débit à assurer, la hauteur manométrique totale (HMT), les caractéristiques des conduites le choix des pompes et les considérations énergétiques.

Ce chapitre expose ainsi les principales étapes du dimensionnement de la station de pompage de Tighremt.

IV.2 Etude des caractéristiques hydrauliques de la station

L'étude des caractéristiques hydrauliques de la station vise à analyser le comportement du système sous pression, en tenant compte des débits à transférer, des pertes de charge engendrées par le réseau ainsi que de la hauteur manométrique totale (HMT) nécessaire au bon fonctionnement des équipements de pompage. [12]

Cette analyse prend en considération la longueur et le diamètre des conduites, la rugosité intérieure, la configuration du tracé, ainsi que les accessoires hydrauliques présents à savoir, les ventouses, les vannes et les vidanges. L'objectif principal est d'assurer une circulation optimale de l'eau traitée depuis la station de dessalement jusqu'aux réservoirs de stockage, tout en garantissant un rendement énergétique satisfaisant et une fiabilité opérationnelle du système.

IV.2.1 Débit requis

La station de pompage est conçue pour assurer le transport de l'eau traitée en sortie de la station de dessalement vers les zones de distribution ou de stockage avec un débit journalier total de 300 000 m³/j d'eau de mer. [10-12]

Le fonctionnement est réparti sur 22 heures par jour, afin d'assurer la production du volume journalier requis et un pompage continu tout en laissant une marge pour la maintenance ou les arrêts techniques. [10]

Le débit horaire nécessaire est donc :

$$Q_H = \frac{Q}{t} = \frac{300000}{22} = 13636,36 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le système de pompage repose sur 5 pompes en fonctionnement simultané, tandis qu'une sixième pompe est maintenue en réserve (stand-by) pour assurer la redondance.

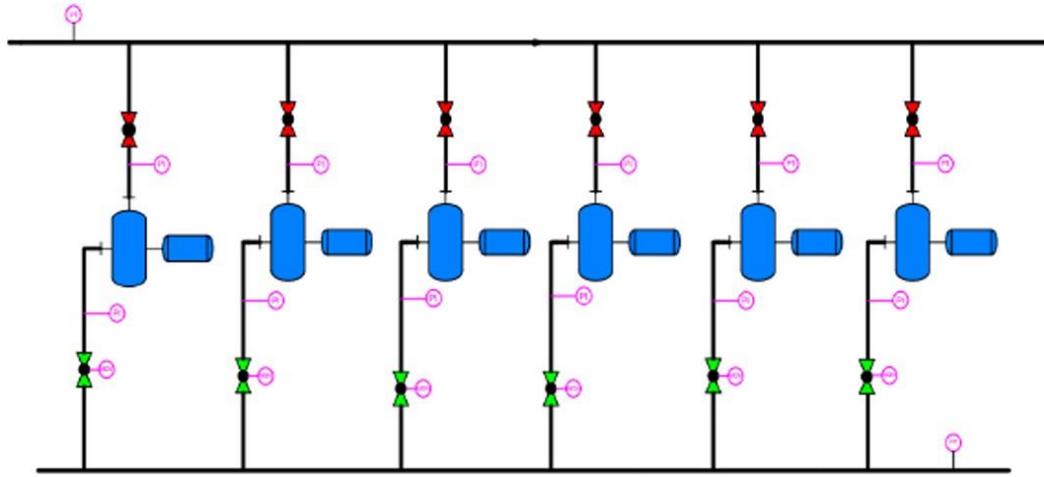


Figure IV.1 : Station de pompage SP1-1[10]

Chaque pompe est donc dimensionnée pour un débit :

$$Q_P = \frac{Q_H}{n} = \frac{13636,36}{5} = 2727,27 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ce débit par pompe servira de base au choix des équipements électromécaniques, notamment pour la sélection des moteurs, pompes et variateurs de fréquence adaptés.

IV.2.2 Hauteur géométrique

La hauteur géométrique est la différence de niveau entre la bâche d'aspiration et les réservoirs de refoulement. Dans notre cas, les niveaux altimétriques exacts ne sont pas fournis, mais la hauteur manométrique totale (HMT) donnée par le maître d'ouvrage est de 136 m. Cette valeur inclut la hauteur géométrique ainsi que les pertes de charge. [12]

IV.2.3 Caractéristiques des conduites

Dans le cadre du projet de raccordement aval de la station de dessalement d'eau de mer de Bejaïa, les travaux incluent la mise en place d'un réseau de conduites d'adduction d'eau sous pression. Ce réseau joue un rôle crucial dans le bon fonctionnement de la station de pompage, en assurant le transfert de l'eau dessalée vers les réservoirs de stockage situés en aval. [12]

La longueur totale du réseau est estimée à 18.5 km avec des conduites de diamètre situé entre 1000mm et 1800mm.

L'épaisseur des parois des conduites, comprise entre 12 mm et 16 mm, confère à l'ensemble du réseau une forte résistance à la pression ainsi qu'aux efforts mécaniques liés à l'exploitation sous pression. En l'absence de précisions techniques dans le mémoire fourni, il est raisonnable de supposer que ces conduites sont en acier, un matériau couramment utilisé pour les infrastructures hydrauliques de grande envergure, notamment en raison de sa robustesse et de sa compatibilité avec les épaisseurs mentionnées. [12]

Le réseau est également équipé de plusieurs ouvrages hydrauliques en ligne, indispensables au bon fonctionnement et à la maintenance du système. On y retrouve notamment, des ventouses, destinées à évacuer l'air accumulé dans les conduites, des vannes de sectionnement, permettant d'isoler des portions du réseau pour les interventions ou réparations et des vidanges, utilisées pour l'évacuation de l'eau lors des opérations d'entretien. La rugosité absolue estimée pour les conduites en acier neuf est de 0,045 mm, valeur typique pour ce type de matériau. [12]

L'ensemble de ces données servira de base pour l'évaluation des pertes de charge, à la fois linéaires (le long des conduites) et singulières (liées aux accessoires et changements de direction), lesquelles influencent directement la hauteur manométrique totale (HMT) requise pour le dimensionnement des pompes du réseau. [12]

IV.2.4 Calcul de la hauteur manométrique totale (HMT)

Dans un système de pompage, la HMT représente l'énergie totale (en hauteur de colonne d'eau) que les pompes doivent fournir pour transférer le fluide. Elle est généralement calculée par : [12]

$$HMT = H_{geo} + H_{pertes} \quad \dots (IV. 1)$$

Les pertes de charge, dues au frottement de l'eau dans les conduites (pertes linéaires) et aux obstacles hydrauliques (pertes singulières), sont comprises dans la HMT fournie. Dans le cas présent, cette valeur a été directement fournie dans le cahier des charges, soit $HMT = 136 m$. Elle tient compte : [12]

- De la hauteur géométrique entre la bâche d'aspiration ($25\ 000\ m^3$) et les réservoirs de refoulement ($25\ 000\ m^3$ et $50\ 000\ m^3$)
- Des pertes linéaires sur 18,5 km de canalisation
- Des pertes singulières dues aux équipements hydrauliques

IV.3 Sélection des pompes

La sélection des pompes représente une étape critique dans la conception d'une station de pompage. Elle doit garantir que les besoins en débit et en pression sont satisfaits, tout en assurant un fonctionnement fiable, économique en énergie et adapté aux contraintes spécifiques de l'installation.

IV.3.1 Critères techniques de sélection

La station de pompage SP1.1 se situe en aval de la station de dessalement, donc elle pompe de l'eau dessalée, faiblement minéralisée, et non corrosive contrairement à de l'eau de mer brute.

Cela a un impact direct sur la sélection des pompes qui doit répondre aux exigences suivantes :

a) Débit unitaire requis

Le débit total de la station est de $0,758 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 758 L/s . Ce débit est assuré par un ensemble de six pompes, configurées en 5+1. Cinq pompes sont en fonctionnement simultané, tandis qu'une sixième pompe reste en réserve pour pallier toute défaillance ou opération de maintenance. [10]

Le débit unitaire par pompe en service est donc de :

$$Q = \frac{0.758}{5} = 0.1516 \text{ m}^3/\text{s}$$

Soit $151,6 \text{ L/s}$ par pompe. Cette répartition permet de garantir à la fois la continuité de service et la flexibilité opérationnelle du système de pompage.

b) Hauteur Manométrique Totale (HMT)

Les pertes de charge calculées, ajoutées à la hauteur géométrique, donnent une HMT de 136 mètres.

c) Nature du fluide pompé

Il est important de noter que le fluide transporté dans ce projet n'est pas de l'eau de mer brute, mais de l'eau dessalée, déjà traitée par la station de dessalement. Cela présente plusieurs avantages significatifs du point de vue hydraulique et matériel.

Tout d'abord, l'eau dessalée est moins agressive chimiquement que l'eau de mer, ce qui réduit les risques de corrosion et de dégradation prématuée des conduites et équipements.

Cela permet de relâcher certaines contraintes sur le choix des matériaux, en particulier pour les conduites, les joints et les organes hydrauliques, qui peuvent être dimensionnés de manière plus économique tout en conservant leur durabilité. [10]

De plus, les conditions de pompage sont plus stables avec de l'eau dessalée, ce qui diminue significativement les risques de cavitation. En effet, l'absence de fortes variations de pression ou de température, ainsi que la nature du fluide, permettent d'assurer un fonctionnement plus régulier et plus sûr des pompes, tout en prolongeant leur durée de vie.

d) Rendement énergétique

Une pompe doit fonctionner à ou à proximité de son point de meilleur rendement (Best Efficiency Point – BEP) afin d'assurer une efficacité hydraulique optimale.

Le fonctionnement au BEP permet de minimiser la consommation énergétique, de réduire les vibrations et les efforts mécaniques sur les composants internes, et par conséquent de prolonger la durée de vie de l'équipement.

Un écart trop important par rapport à ce point peut entraîner des pertes d'énergie, une usure prématuée des pièces, voire des déséquilibres hydrauliques nuisibles au bon fonctionnement du système. [12]

e) Hauteur d'aspiration requise (NPSH)

Pour garantir un fonctionnement optimal des pompes et éviter les phénomènes de cavitation, il est essentiel que la hauteur d'aspiration disponible (NPSH disponible) soit supérieure à la hauteur d'aspiration requise (NPSH requis) par la pompe.

Le respect de cette condition assure que la pression dans la ligne d'aspiration reste suffisante pour empêcher la vaporisation partielle de l'eau, ce qui pourrait endommager les composants internes de la pompe. [12]

Cette exigence est d'autant plus importante dans les systèmes à débit continu comme celui de la station de dessalement, où la fiabilité des équipements est primordiale.

IV.3.2 Type de pompe retenue

Les pompes utilisées doivent être capables de refouler un débit de $0,758 \text{ m}^3/\text{s}$ sous une HMT de 136 m. Après analyse des besoins du réseau et des conditions d'exploitation de la station, le choix s'oriente vers des pompes centrifuges horizontales, connues pour leur fiabilité, leur capacité à gérer de grands débits, et leur facilité de maintenance.

Ce modèle est particulièrement bien adapté aux applications nécessitant une grande hauteur de refoulement, tout en offrant un bon rendement énergétique.

Sa configuration horizontale facilite les opérations de maintenance grâce à un accès direct aux principaux composants, ce qui constitue un atout en termes d'exploitation à long terme.

De plus, ces pompes sont conçues pour résister à la corrosion, garantissant ainsi une fiabilité et une durabilité accrues, même dans un environnement exigeant.

Ce choix technique permet également une intégration harmonieuse dans l'espace disponible au sein de la station de pompage SP1-1, qui sera équipée de six groupes électropompes fonctionnant en parallèle ou en redondance selon les besoins du réseau.

IV.3.3 Configuration de fonctionnement

La station de pompage SP1-1 sera équipée de six groupes électropompes, dont cinq en fonctionnement courant et un en secours (configuration 5+1). Cette organisation permet d'assurer une continuité de service en cas de maintenance ou de défaillance de l'un des groupes, tout en ajustant facilement le nombre de pompes en service en fonction des besoins en eau.

Chaque pompe affiche un débit unitaire de 151,6 litres par seconde, pour une hauteur manométrique totale (HMT) de 136 mètres. Ce dimensionnement a été établi sur la base d'une vitesse d'écoulement de 1,49 m/s et de pertes de charge estimées à environ 1 mètre. Le système est conçu pour atteindre un rendement global supérieur ou égal à 80 %, garantissant ainsi une bonne efficacité énergétique.[10]

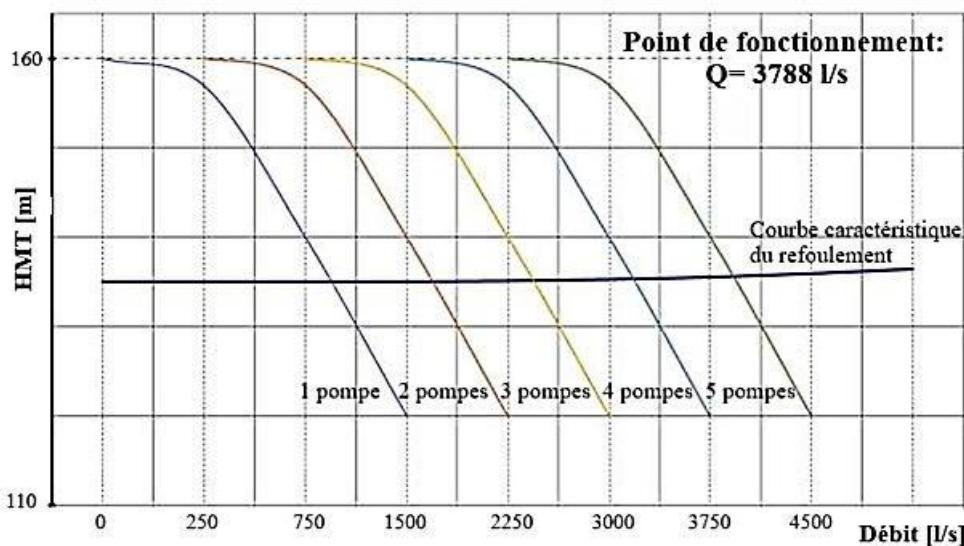


Figure IV.2 : Courbes de réseau et de fonctionnement des pompes de la station SP1-1

La courbe de fonctionnement figure (IV.2) présente les performances d'une pompe à plan de joint sélectionnée à partir des catalogues d'un fournisseur. Elle permet de visualiser la principale caractéristique hydraulique de la pompe, la hauteur manométrique totale en fonction du débit et d'évaluer son adéquation avec le nombre des pompes utilisées selon les besoins de la station de pompage.

Les pompes seront entraînées par des moteurs électriques à vitesse variable (VFD), ce qui offre une grande flexibilité d'exploitation. Grâce à cette motorisation, le débit peut être ajusté en temps réel en fonction des variations de la demande, ce qui permet d'optimiser les performances énergétiques tout en préservant la durée de vie des équipements.

En résumé, cette configuration assure à la fois modularité, fiabilité et efficacité, tout en répondant aux exigences de performance du réseau.

IV.4 Détermination de la puissance hydraulique et électrique nécessaire

Afin de dimensionner correctement les équipements de la station de pompage SP1-1, il est essentiel de déterminer la puissance requise pour assurer le transfert de l'eau dessalée. Cette étape permet d'évaluer à la fois la puissance hydraulique, directement liée aux caractéristiques du fluide à pomper, et la puissance électrique, qui tient compte du rendement des pompes et des moteurs.

La connaissance précise de ces puissances est indispensable pour le choix des groupes électropompes, la sélection des variateurs de fréquence ainsi que pour la planification de la consommation énergétique de l'installation.

IV.4.1 Calcul de la puissance hydraulique

La puissance hydraulique développée par chaque pompe peut être estimée à l'aide de la formule issue du principe de Bernoulli : [10]

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H \quad \dots (\text{IV. 2})$$

Avec ρ : Masse volumique de l'eau en [kg/m^3], g : Accélération due à la gravité en [m/s^2],

Q : Débit de la pompe en [m^3/s] et H : Hauteur manométrique en [m].

Cette relation permet d'estimer la puissance nécessaire pour éléver un certain débit d'eau à une hauteur donnée, ce qui est fondamental pour le dimensionnement énergétique des installations de pompage.

Application numérique :

Avec $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$; $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $Q = 0.758 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ et $H = 136 \text{ m}$

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H = 1000 \times 9.81 \times 0.758 \times 136 = 1011.3 \text{ kW}$$

IV.4.2 Calcul de la puissance électrique

La puissance électrique est donnée en fonction de la puissance hydraulique et des rendements de la pompe et du moteur par : [12]

$$P_{\text{elec}} = \frac{P_h}{\eta_{\text{pompe}} \eta_{\text{moteur}}} = \frac{P_h}{\eta_{\text{global}}} \quad \dots (\text{IV.3})$$

En tenant compte d'un rendement global estimé à 75 % (0,75) pour la pompe et le moteur on aura :

$$P_{\text{elec}} = \frac{P_h}{\eta_{\text{global}}} = \frac{1011.3}{0.75} = 1348.4 \text{ kW}$$

On choisira donc un moteur d'une puissance nominale légèrement supérieure, par exemple 1500 kW pour chaque pompe.

IV.5 Équipements électriques et dispositifs de démarrage

Le bon fonctionnement des groupes électropompes de la station SP1-1 repose sur un ensemble d'équipements électriques soigneusement sélectionnés.

Cette section présente les principaux composants électriques nécessaires à l'alimentation, au contrôle et à la protection des moteurs, ainsi que les dispositifs de démarrage adaptés aux conditions d'exploitation. Une attention particulière est portée à l'usage de variateurs de vitesse (VFD). [10]

IV.5.1 Intégration des variateurs de fréquence (VFD)

Chaque pompe sera donc couplée à un moteur asynchrone triphasé commandé par un démarrage par variateur de fréquence (VFD), installé en armoire électrique dédiée, pour assurer un démarrage progressif, limiter les appels de courant et permettre un ajustement en fonction des besoins en débit.

L'utilisation de variateurs de fréquence (VFD) permet d'ajuster le fonctionnement des moteurs en fonction des besoins hydrauliques, tout en optimisant la consommation énergétique. Le VFD présente plusieurs avantages entre autres on peut citer : [10]

- a) **Démarrage progressif des moteurs** : Ce qui entraîne une réduction des appels de courant au démarrage, évitant les chocs mécaniques.
- b) **Régulation du débit** : possibilité d'ajuster en continu la vitesse des pompes pour répondre précisément aux besoins en eau.
- c) **Optimisation énergétique** : en adaptant la vitesse de rotation à la demande, les VFD permettent d'économiser l'énergie surtout en période de faible consommation.
- d) **Protection des équipements** : réduction de l'usure des organes mécaniques.

IV.5.2 Sécurité, maintenance et redondance du système

Afin de garantir la fiabilité et la continuité de service de l'installation, plusieurs dispositifs ont été intégrés.

Une sixième pompe est prévue en secours, permettant de maintenir le fonctionnement même en cas de panne ou de maintenance sur l'un des groupes en service. Les conduites sont protégées contre la corrosion grâce à un système de protection cathodique, assurant leur durabilité dans le temps.

Enfin, un système de télétransmission permet le contrôle à distance et la surveillance en temps réel de l'ensemble de la station, renforçant ainsi la réactivité en cas d'anomalie et facilitant la gestion opérationnelle.

IV.6 Analyse du bilan de puissance de la station de pompage SP1.1

La présente note de calcul a pour objet de déterminer le bilan de puissance pour l'installation électrique de la station de pompage SP1.1 relative au projet nommé « Raccordement aval de la station de dessalement d'eau de mer BEJAIA » conçu pour une capacité de 300 000 m³/j. [10]

IV.6.1 Base de calcul

Le bilan de puissance repose sur les trois composantes fondamentales de l'énergie électrique :

a) Puissance active (P)

Il s'agit de la puissance réellement utilisée pour effectuer un travail utile, un pompage dans notre cas. Elle est exprimée en watts [W] ou en kilowatts [kW].

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \phi \quad \dots (\text{IV. 4})$$

b) Puissance réactive (Q)

Elle est générée par les composants réactifs du réseau électrique, tels que les bobines et les condensateurs. Elle n'effectue pas de travail utile, mais est indispensable au bon fonctionnement des équipements. Elle est exprimée en voltampères réactifs [Var].

Cette puissance est calculée par :

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \phi \quad \dots (\text{IV. 5})$$

c) Puissance apparente (S)

Elle représente la puissance totale fournie à l'installation. Elle est la combinaison vectorielle de la puissance active et de la puissance réactive, exprimée en voltampères [VA] ou en [kVA], selon la relation :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \dots (\text{IV. 6})$$

IV.6.2 Compensation

Pour améliorer le facteur de puissance d'une installation électrique, il est nécessaire d'ajouter des capacités de compensation ou d'utiliser un système de correction automatique du facteur de puissance.



Figure IV.3 : Condensateurs utilisés pour la correction du facteur de puissance

Ces dispositifs permettent de réduire la puissance réactive absorbée par l'installation, et ainsi d'optimiser la consommation d'énergie électrique.

Tableau IV.1 : Relations usuelles pour le calcul de la compensation d'énergie

Grandeurs avant compensation		Grandeurs après compensation	
puissance apparente [VA]	$S = \frac{P}{\cos \phi}$	Nouvelle puissance apparente [VA]	$S' = \frac{P}{\cos \phi'}$
puissance réactive actuelle [Var]	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	Nouvelle puissance réactive [Var]	$Q' = \sqrt{S'^2 - P^2}$
Compensation nécessaire [VA]		$Q_c = Q - Q' = P(\tan(\phi) - \tan(\phi'))$	

Les relations usuelles nécessaires pour les calculs de la compensation de l'énergie réactive sont résumées dans le tableau (IV.1).

IV.6.3 Réduction du courant grâce à l'amélioration du facteur de puissance

Lorsqu'on améliore le facteur de puissance d'une installation, en passant de $\cos(\phi)$ à $\cos(\phi')$, le courant absorbé diminue. Ce nouveau courant peut être calculé par :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos(\phi')} \quad \dots (\text{IV. 7})$$

Concrètement, cette amélioration se traduit par une baisse du courant électrique circulant dans l'installation. Moins de courant, c'est moins de pertes dans les câbles, une sollicitation réduite des équipements électriques et, au final, une diminution de la consommation d'énergie facturée.

En résumé, corriger le facteur de puissance permet non seulement de mieux utiliser l'énergie disponible, mais aussi de faire des économies sur la facture d'électricité, tout en prolongeant la durée de vie du matériel.

IV.6.4 Impact de l'amélioration du facteur de puissance

L'amélioration du facteur de puissance des moteurs a des effets directs et mesurables sur les performances globales du système électrique. En diminuant la puissance apparente nécessaire au fonctionnement de l'installation, elle permet de réduire la charge supportée par les transformateurs, les disjoncteurs et les câbles. Cette optimisation contribue à améliorer le rendement énergétique général.

En réduisant la quantité de puissance réactive à transporter, on limite les pertes en ligne dans le réseau. Cela entraîne non seulement une diminution des échauffements dans les équipements, mais aussi une baisse des coûts d'exploitation. L'ensemble de l'installation gagne ainsi en efficacité et en durabilité.

De plus, une meilleure gestion du facteur de puissance améliore la stabilité du réseau interne. Elle réduit les fluctuations de tension, ce qui limite les perturbations pouvant affecter les équipements sensibles, tels que les dispositifs de commande ou les systèmes électroniques de précision.

Cette amélioration allège donc considérablement la sollicitation des équipements électriques, réduit les pertes par effet Joule et contribue à prolonger la durée de vie de l'infrastructure.

Enfin, pour assurer une marge de sécurité dans le dimensionnement de l'installation, il est d'usage de prévoir une réserve minimale de 20 % sur la capacité de compensation installée. Cette précaution permet d'anticiper les évolutions de la charge et de maintenir une correction efficace dans le temps.

IV.6.5 Facteur de simultanéité et d'utilisation

Le facteur de simultanéité est le rapport entre la puissance maximale réellement appelée par un ensemble d'appareils, à un instant donné, et la somme des puissances maximales individuelles que ces appareils pourraient appeler s'ils fonctionnaient tous en même temps. Il est exprimé en pourcentage ou en valeur décimale. Ce facteur permet d'ajuster les puissances à prévoir en fonction du fonctionnement réel du système.

Le facteur d'utilisation permet d'évaluer dans quelle mesure la puissance installée dans une installation électrique est réellement utilisée. Autrement dit, il exprime le rapport entre la puissance effectivement consommée et la puissance maximale disponible.

Ce facteur varie en fonction du type d'équipement. Par exemple, pour les moteurs électriques, il est généralement estimé à 0,9, ce qui signifie qu'en moyenne, un moteur fonctionne à 90 % de sa puissance nominale. En revanche, pour des usages plus constants comme l'éclairage ou le chauffage, on considère souvent un facteur d'utilisation de 1, car ces équipements fonctionnent généralement à pleine charge lorsqu'ils sont allumés.

IV.7 Partie basse tension de la station de pompage

La partie basse tension de la station de pompage regroupe l'ensemble des équipements électriques fonctionnant sous une tension inférieure ou égale à 1000 V, ainsi que les dispositifs de protection, de commande et de compensation associés. L'objectif est de présenter de manière claire les caractéristiques techniques, les besoins en puissance et les choix de dimensionnement retenus pour assurer le bon fonctionnement et la fiabilité de l'installation.

IV.7.1 Identification des équipements de la partie basse tension

Tableau IV.2 : Grandeurs électriques des équipements de la partie basse tension

Désignation	Pa[kW]	Pn[kW]	Fu	η	$\cos \phi$	Fs	Pn[kW]	Qn[kVAr]	Ps[kW]	Qs[kVAr]
Eclairage + Prises	36.63	36.35	1,00	1,0	0,85	0,90	32,97	20,43	32,97	20,43
HVAC	100,00	100,00	1,00	0,9	0,85	1,00	111,11	68,86	111,11	68,86
COMPRESSEUR ANTI BELIER	46,03	46,03	1,00	1	0,85	0,90	41,43	25,68	41,43	25,68
AUXILIAIRES SP 1.1	48,47	48,47	1,00	1	0,85	0,90	43,63	27,04	43,63	27,04
AUXILIAIRES SOUS STATION et VFD	91,56	91,56	1,00	1	0,85	0,90	82,40	51,07	6,22	3,24
VANNES BACHE D'ASPIRATION	12,15	12,15	1,00	1	0,85	0,90	10,94	6,78	10,94	6,78
					Totaux		322,48	199,86	246,3	152,03

Le tableau (IV.2) récapitule les principales caractéristiques électriques des équipements alimentés en basse tension dans la station de pompage où : [10]

Pa : Puissance absorbée ; Pn : Puissance nominale ; Fu : Facteur de simultanéité ; Fu : Facteur d'utilisation ; η : Rendement ; $\cos \phi$: Facteur de puissance ; Pn : Puissance active normale ; Qn : Puissance réactive normale ; Ps : Puissance active de secours ; Qs : Puissance réactive secours ; HVAC: Chauffage, Ventilation et Climatisation.

IV.7.2 Bilan de puissance partie basse tension

À partir des données fournies par l'organisme d'accueil, nous avons recensé l'ensemble des puissances actives des équipements. En tenant compte des différents facteurs de puissance, nous avons ensuite calculé les puissances réactives correspondantes. Le tableau (IV.3) récapitule l'ensemble des données relatives aux puissances des équipements en basse tension de la station de pompage. [10]

Tableau IV.3 : Bilan de puissance équipements partie basse tension

Equipements	Puissance active [kW]	Puissance réactive [kVAr]
Eclairage + prises	32.97	20.43
HVAC	111,11	68,86
Compresseur anti belier	41,43	25,68
Auxiliaires sp 1.1	43,63	27,04
Auxiliaires sous station et VFD	82,40	51,07
Vannes bâche d'aspiration	10,94	6,78
Totaux	322.48	199.86

a) Calcul du facteur de puissance

$$\operatorname{tg}(\phi) = \frac{Q_t}{P_t} = \frac{199.86}{322.48} = 0.6197 \quad \Rightarrow \cos(\phi) \approx 0.85$$

b) Calcul du courant absorbé

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos(\phi)} = \frac{322.48 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.85} \approx 576.42 A$$

IV.7.3 Critère du choix du transformateur

Il est judicieux, une fois le calcul de la puissance effectué, d'ajouter une majoration d'environ 20 % afin d'introduire une marge de sécurité et de flexibilité dans le choix du transformateur. Le tableau (IV.4) présente un récapitulatif des puissances actives demandées ainsi que celles du groupe électrogène.

Tableau IV.4 : Bilan de puissance totale

	Puissance active [kW]	Facteur de puissance	Puissance réactive [kVAr]
Maximale demandée	322.5	0.85	199.87
Groupe électrogène	246.3	0.85	152.64
Charge Max+20%	387	0.85	239.84

a) Calcul de la puissance apparente

La puissance apparente est obtenue à partir de la puissance active et de la puissance réactive à l'aide de la formule suivante :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{387^2 + 239.84^2} = 455.3 \text{ kVA}$$

b) Prévision d'extension future

Un surdimensionnement raisonnable permet d'ajouter ultérieurement des équipements HVAC ou autres, sans avoir à remplacer le transformateur. Cela évite des coûts élevés liés à son remplacement ou à l'ajout d'un second transformateur.

c) Taux de charge idéal

Un transformateur offre généralement un rendement optimal lorsqu'il est exploité entre 60 % et 80 % de sa capacité. Avec une charge actuelle de 455,3 kVA pour un transformateur de 800 kVA, soit environ 57 %, le taux de charge reste acceptable, en particulier si une extension est prévue à court ou moyen terme.

d) Durée de vie & échauffement

Un transformateur moins sollicité chauffe moins, ce qui améliore sa durée de vie et réduit les pertes thermiques, contribuant ainsi à un meilleur rendement énergétique global.

IV.7.4 Choix du transformateur

Il est également judicieux de préciser que le facteur de puissance ($\cos \phi$) est directement impacté par la charge du transformateur, d'où la nécessité de le compenser, si besoin, à l'aide d'un système de batterie de condensateurs ou équivalent.

Par ailleurs, un transformateur de 800 kVA occupe plus d'espace et engendre un coût plus élevé que les modèles de 500 ou 630 kVA.

Toutefois, dans le cas d'une extension prévue entre 20 % et 40 %, le choix d'un transformateur 800 kVA s'avère pertinent et cohérent, bien plus que l'option d'un 500 ou 630 kVA, qui risqueraient d'être rapidement sous-dimensionnés.

Le choix d'un transformateur 800 kVA est justifié techniquement par la puissance installée actuelle de 455,3 kVA et par la prise en compte d'un besoin d'extension à court ou moyen terme, pouvant atteindre environ 590 kVA.

Ce dimensionnement permet une exploitation dans une plage optimale de rendement, assure une meilleure sécurité thermique, prolonge la durée de vie du transformateur, et respecte les normes en vigueur : NF C13-100 (installations HTA) et NF C15-100 (installations BT).

IV.7.5 Amélioration du facteur de puissance

L'amélioration du facteur de puissance est une démarche essentielle pour optimiser la performance énergétique d'un système électromécanique. Un facteur de puissance insuffisant entraîne des surcharges dans les réseaux électriques, une consommation excessive de puissance apparente, des pertes supplémentaires dans les câbles et transformateurs, ainsi que des coûts financiers accrus. Une correction ciblée permet d'améliorer l'efficacité globale du système.

IV.7.5.1 Analyse énergétique de la station basse tension

Tableau IV.5 : Données de départ [10]

Puissance active	P [kW]	387
Facteur de puissance initial	$\cos \phi$	0,85
Tension d'alimentation	U [V]	380
Fréquence	F [Hz]	50
Objectif de correction	$\cos \phi'$	0,92

a) Calcul de la puissance réactive actuelle (Q)

$$Q = P \times \operatorname{tg}(\cos^{-1}(0.85)) = 387 \times 0.6197 \approx 239.84 \text{ kVAR}$$

b) Calcul de la puissance apparente (S) actuelle

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{387^2 + 239.84^2} = 455.3 \text{ kVA}$$

IV.7.5.2 Calcul de la compensation nécessaire

a) Nouvelle puissance apparente avec $\cos \phi = 0,92$

$$S' = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{387}{0.92} = 420.65 \text{ kVA}$$

b) Nouvelle puissance réactive Q'

$$Q' = \sqrt{S'^2 - P^2} = \sqrt{420.65^2 - 387^2} \approx 164.86 \text{ kVAR}$$

c) Compensation nécessaire

$$Q_c = Q - Q' = 239.84 - 164.86 \simeq 75 \text{ kVAR}$$

d) Synthèse de la compensation

Pour ramener le facteur de puissance de 0,85 à 0,92, il faut ajouter une capacité de compensation d'environ 75 kVAR, typiquement réalisée à l'aide de condensateurs ou d'un système de correction automatique du facteur de puissance.

Voici un tableau comparatif clair avant et après amélioration du facteur de puissance pour la station de pompage côté basse tension.

Tableau IV.6 : Tableau comparatif – Amélioration du facteur de puissance

Paramètre	Avant amélioration	Après amélioration
Puissance active (P)	387 kW	387 kW
Facteur de puissance ($\cos \phi$)	0,85	0,92
Puissance apparente (S)	455.3 kVA	420.65 kVA
Puissance réactive (Q)	239.84 kVAR	164.86 kVAR
Compensation nécessaire	–	75 kVAR

IV.7.5.3 Impact de l'amélioration proposée

L'amélioration du facteur de puissance de la station basse tension a des impacts directs et mesurables sur la performance du système :

a) Réduction de la puissance apparente

- De 455.3 kVA à 420.65 kVA, soit une diminution de plus de 7,6 %
- Permet d'alléger la charge sur les transformateurs, les disjoncteurs et les câbles

b) Amélioration du rendement énergétique

La compensation de l'énergie réactive permet de réduire la quantité de puissance réactive à transporter dans le réseau, ce qui diminue les pertes en ligne. Par conséquent, les équipements subissent moins d'échauffement, ce qui contribue à améliorer leur rendement et leur durée de vie.

c) Baisse des coûts d'exploitation et meilleure stabilité du réseau interne

La compensation de la puissance réactive présente plusieurs avantages notables pour l'installation électrique. Elle permet de réduire la consommation d'énergie inutile en limitant la

circulation de puissance réactive dans le réseau. Cela contribue non seulement à améliorer l'efficacité énergétique globale, mais aussi à supprimer les pénalités financières liées à un facteur de puissance insuffisant. En outre, la compensation aide à stabiliser la tension en réduisant les fluctuations, ce qui diminue les perturbations pouvant affecter le bon fonctionnement des équipements sensibles connectés au réseau.

IV.7.5.4 Résumé technique de l'amélioration du facteur de puissance

Pour compenser 356,1 kVAR de puissance réactive, le passage du facteur de puissance de 0,85 à 0,92 permet de réduire la puissance apparente et le courant de 7,6 %.

Cette optimisation allège la charge supportée par les équipements électriques (transformateurs, câbles, disjoncteurs), diminue les pertes d'énergie (effet Joule), et supprime les pénalités financières liées à un faible $\cos \phi$.

La correction peut être mise en œuvre par ajout de batteries de condensateurs, contrôlées automatiquement si nécessaire.

IV.7.5.5 Puissance unitaire des batteries de condensateurs disponibles

La compensation peut être fixe avec des condensateurs branchés en permanence ou bien automatique via une batterie de condensateurs avec régulateur, qui connecte les étages selon la charge qui est plutôt plus flexible et courant pour des puissances supérieures à 50 kVAr. Il faut toujours prévoir un taux de surtension, donc choisir des condensateurs légèrement surdimensionnés en tension

Tableau IV.7 : Choix des condensateurs de compensation

Valeur courante	En kVAr	Nombre de condensateurs
Petite unité	5	15
	7.5	10
	10	7 ou 8 (selon précision du besoin)
Moyenne unité	15	5
	25	3
Plus grandes	75	1 (si disponible en un seul bloc)

Les batteries de condensateurs sont généralement disponibles en modules standards de, le tableau (IV.7) résume le nombre d'unité de condensateurs à utiliser pour les diverse cas existant sur le marché.

IV.7.6 Consommation des équipements poste par poste

Afin d'évaluer les besoins énergétiques globaux de la station de pompage, un bilan de consommation a été réalisé poste par poste. [10]

Tableau IV.8 : Bilan de consommation électrique par poste de la station de pompage

	Puissance consommée « continue »			Puissance consommée « secours »		
	P kW	Q kVAr	S kVA	P kW	Q kVAr	S kVA
Poste de livraison	5.77	3.39	6.69	5.77	3.39	6.69
Eclairage et prises de courant locaux transformateurs & groupe électrogène.	5.32	2.37	5.83	4.52	2.06	4.97
Loge gardien	5.28	3.15	6.15	5.28	3.15	6.15
Eclairage extérieur	20.26	0.0	20.26	20.26	0.0	20.26
Local compresseurs anti bâliers	46.03	28.4	54.09	45	27.89	52.94
Local poste 5,5 kv et variateurs de vitesse	91.56	56.12	107.39	6.22	3.24	7.01
Auxiliaires sp 1.1	48.47	27.56	55.76	48.47	27.56	55.76
Vannes bâche d'aspiration sp1.1	12.15	6.29	13.68	11.32	5.77	12.71
Salle de contrôle	4.25	2.32	4.84	4.25	2.32	4.84
Totaux	239.09	129.6	271.95	151.09	75.38	168.85

Ce bilan permet d'identifier les équipements les plus énergivores et d'optimiser le dimensionnement des installations électriques, notamment en ce qui concerne la puissance à installer, la protection, ainsi que la gestion de l'énergie réactive.

IV.8 Partie moyenne tension (HTA) de la station de pompage

La partie Haute Tension A (HTA) de la station de pompage regroupe l'ensemble des installations fonctionnant sous une tension comprise entre 1 kV et 50 kV, généralement 20 kV dans le cadre des réseaux publics de distribution. Elle constitue le point d'alimentation principal de la station, assurant l'interface entre le réseau de distribution HTA du fournisseur d'électricité et le poste de transformation interne du site. [10]

Cette section décrit les différents composants HTA mis en œuvre, notamment les cellules HTA, les dispositifs de protection, le transformateur HTA/BT ainsi que les dispositifs de comptage et de manœuvre. L'objectif est d'assurer une alimentation électrique fiable, sécurisée et conforme aux exigences de la norme NF C13-100.

IV.8.1 Caractéristiques électriques d'une pompe

Le tableau suivant présente les caractéristiques électriques d'une pompe principale utilisée dans la station de pompage.

Cette analyse prend en compte les rendements cumulés du moteur, du variateur de fréquence (VFD) et de la pompe elle-même, ainsi que le facteur de puissance en régime établi. Les puissances actives, réactives et apparentes sont ensuite extrapolées pour l'ensemble des six pompes identiques. [10]

Tableau IV.9 : Caractéristiques électriques d'une pompe

Paramètre	Valeur	Paramètre	Valeur
Tension	6,000 V	Rendement (moteur x Marge)	0.9 x 0.9
Utilisation	C	Démarrage	VFD
Puissance Absorbée	1727,33 kW	Rendement pompe	0.76
Puissance Consommée	1799,30 kW	Facteur de puissance	0.90
Puissance Nominal	1800.00 kW	Rendement (VFD)	0.96

IV.8.2 Synthèse des puissances pour les pompes

Le tableau (IV.10) présente une synthèse des puissances active, réactive et apparente pour une seule pompe, puis pour l'ensemble des six pompes fonctionnant simultanément dans la station de pompage.

Ces valeurs sont calculées à partir des caractéristiques techniques relevées, en tenant compte des rendements, du facteur de puissance et des conditions de fonctionnement. [10]

Tableau IV.10 : Différentes puissances des pompes

Type	Puissance active [kW]	Puissance réactive [kVAr]	Puissance apparente [kVA]
Une pompe	1 799,3	871,4	1 999,2
Six pompes	10 795,8	5 228,4	11 995,2

Ce dimensionnement permet d'évaluer précisément les besoins en énergie et de justifier les choix d'équipements électriques en amont, notamment le transformateur HTA/BT.

IV.8.3 Bilan de puissance de la partie moyenne tension (HTA)

IV.8.3.1 Données de base

La station de pompage est équipée de cinq pompes fonctionnant simultanément et une pompe en arrêt, chacune alimentée en courant triphasé sous 6 000 V. Le facteur de puissance moyen de l'installation est estimé à $\cos \varphi = 0,90$, ce qui est représentatif d'un fonctionnement industriel correct. [12]

Pour assurer l'alimentation de l'ensemble de ces équipements, le système est raccordé à deux transformateurs de 6 000 kVA chacun, offrant une capacité totale de 12 000 kVA. Cette configuration garantit non seulement la couverture des besoins en puissance, mais également une marge de sécurité et une possibilité de redondance en cas de maintenance ou de défaillance de l'un des transformateurs.

IV.8.3.2 Calcul du bilan de puissance

a) Calcul de la puissance totale apparente

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{10795.8^2 + 5228.4^2} = 11995.22 \text{ kVA}$$

b) Justification du dimensionnement

Le choix de deux transformateurs de 6 000 kVA, soit une capacité totale de 2x6 000, c'est-à-dire 12 000 kVA est justifié, car il couvre la totalité des besoins avec marge de sécurité. Cette configuration permet également de fonctionner en redondance ou alternance, améliorant la fiabilité de l'alimentation.

IV.9 Conclusion

Le dimensionnement de la station de pompage SP1-1 constitue une étape fondamentale dans la mise en œuvre du projet de raccordement aval de la station de dessalement d'eau de mer de Bejaïa. À travers ce chapitre, nous avons défini l'ensemble des paramètres hydrauliques et électriques indispensables pour assurer un fonctionnement optimal, fiable et durable de l'installation.

La station a été conçue pour transférer un débit global de 758 L/s sous une hauteur manométrique totale de 136 mètres, en s'appuyant sur une configuration de cinq pompes en service et une en secours. Le choix des pompes centrifuges horizontales, couplées à des moteurs

électriques à vitesse variable, permet de garantir une efficacité énergétique élevée, une flexibilité d'exploitation et une facilité de maintenance.

Sur le plan énergétique, la puissance hydraulique nécessaire a été estimée à 1011,3 kW, ce qui correspond à une puissance électrique de 1348,4 kW par pompe après prise en compte des rendements. Ce dimensionnement a orienté le choix de moteurs de 1500 kW et l'adoption de variateurs de fréquence (VFD) pour une gestion dynamique et économique du pompage.

Par ailleurs, une attention particulière a été portée au bilan de puissance de la station, aussi bien en basse qu'en moyenne tension. Le dimensionnement des transformateurs, soit en BT avec 800 kVA et en HTA avec 2×6000 kVA, la compensation de l'énergie réactive, ainsi que l'optimisation du facteur de puissance (de 0,85 à 0,92) ont permis d'augmenter la performance énergétique globale du système tout en assurant la conformité aux normes en vigueur.

En somme, cette étude de dimensionnement assure non seulement l'adéquation hydraulique et électrique de la station SP1-1 avec les exigences du projet, mais elle établit également les bases d'une exploitation sûre, efficace et évolutive de l'infrastructure dans le temps.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

La présente étude, axée sur l'analyse de la station de pompage associée à la station de dessalement d'eau de mer de Tighremt, a permis de mettre en lumière le rôle déterminant des équipements électromécaniques et électriques dans le fonctionnement optimal d'un système hydraulique d'envergure. Dans un contexte national, cette installation constitue une réponse stratégique aux besoins croissants en eau potable dans la région de Bejaïa.

Les pompes sont dimensionnées avec précision pour assurer un débit élevé et une hauteur manométrique conséquente. Le choix de pompes centrifuges à carter fendu axialement permet de garantir un rendement hydraulique performant, une facilité de maintenance et une grande fiabilité à long terme. Couplées à des moteurs électriques asynchrones à cage d'écureuil de forte puissance allant jusqu'à 1800 kW, ces pompes bénéficient d'un pilotage efficace via des variateurs de vitesse (VSD), assurant ainsi une adaptation continue aux variations de charge et une réduction significative de la consommation énergétique.

Sur le plan de l'alimentation électrique, la station est desservie par Sonelgaz à travers des transformateurs de puissance de 6 MVA et 800 kVA, conçus pour adapter les niveaux de tension aux besoins spécifiques de l'installation. Ces transformateurs, refroidis par huile (ONAN) et dotés de systèmes de réglage hors tension, garantissent une alimentation stable, fiable et conforme aux normes de sécurité en vigueur.

La protection des équipements est assurée par des relais numériques intelligents de type SEPAM de Schneider Electric. Ces dispositifs jouent un rôle fondamental dans la détection des défauts, la prévention des surintensités, la surveillance en temps réel des paramètres électriques, et la communication avec le système SCADA. En cas d'incident, ils permettent une isolation rapide des parties défaillantes sans compromettre le fonctionnement global de la station.

L'ensemble de ces composants fonctionne en synergie, soutenu par une architecture électrique robuste, des armoires de commande automatisées, une instrumentation précise, et un système de supervision centralisé. Cette configuration garantit à la fois sécurité, efficacité énergétique, continuité de service.

Ainsi, cette étude montre que la performance d'une station de pompage ne repose pas uniquement sur sa capacité hydraulique, mais sur l'intégration intelligente et rigoureuse de tous les éléments électromécaniques. La station de Tighremt illustre un modèle d'infrastructure moderne, adaptable, et conforme aux exigences du développement durable, capable de répondre efficacement aux enjeux actuels et futurs en matière de gestion de l'eau.

Perspectives

Le projet de développement des nouvelles stations de dessalement d'eau de mer en Algérie s'inscrit dans une stratégie globale alliant production d'énergie renouvelable et dessalement durable. Six nouvelles stations seront implantées à Skikda, Tizi Ouzou, Jijel, Chlef, Mostaganem et Tlemcen, avec une capacité unitaire de 300 000 m³/jour. Ce programme vise à répondre aux besoins en eau potable, y compris dans les zones situées jusqu'à 150 km à l'intérieur des terres, assurant ainsi une distribution équitable et sécurisée.

Une part importante de ce projet est dédiée à l'intégration de 30 à 35 % d'énergies renouvelables, notamment solaire, afin de réduire l'empreinte carbone et la consommation d'énergie fossile, conformément à la stratégie nationale de transition énergétique. Cette approche se traduira par un projet complexe en deux phases : la production d'énergie verte et la mise en service des stations de dessalement.

Parallèlement, des études sont en cours pour valoriser la saumure issue du dessalement, notamment en extrayant des minéraux stratégiques tels que le lithium, le sodium, et le magnésium, essentiels à l'industrie des batteries pour véhicules électriques. Ce volet ouvre la voie à des partenariats industriels et économiques visant à créer une filière locale innovante.

Le développement de l'hydrogène vert fait également partie des perspectives, avec des études préliminaires pour intégrer sa production dans les stations, en profitant de l'eau ultra pure produite. Ce projet nécessite des infrastructures sécurisées en raison des risques liés aux atmosphères explosives.

Enfin, la collaboration avec les universités algériennes est un pilier essentiel du programme, favorisant la recherche appliquée, le transfert de technologie, et la formation. Une stratégie de localisation de l'industrie du dessalement est également engagée, visant à produire localement les composants essentiels et assurer la souveraineté technologique et financière du secteur.

En somme, ce projet illustre la volonté de l'Algérie de sécuriser durablement son approvisionnement en eau potable tout en s'inscrivant dans une dynamique de développement durable et d'innovation industrielle.

*D'après M. Sofiane ZAMICHE Directeur de développement AEC
« Algerian Energy Company » via les ondes d'Alger chaîne 3, émission du 25 mai 2025*

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

[1] : Organisation des Nations Unies (ONU). (2024). Rapport sur la population mondiale. New York : ONU.

[2] : Cooley, H., Gleick, P. H., & Wolff, G. (2006). « Desalination, With a Grain of Salt – A California Perspective ». Oakland, CA : Pacific Institute.

[3] : Boudissa, S. (2013). « Influence des paramètres opératoires sur les performances d'un système de dessalement par osmose inverse ». Mémoire de Master. Université Ferhat Abbas Sétif 1. Consulté le 25/05/2025 sur www.memoireonline.com

[4] : Benameur, R. (2017). « Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse ». Mémoire de fin d'études. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran. Consulté le 28/05/2025 sur www.academia.edu

[5] : Amitouche, M. (2016). « Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur ». Mémoire de Master. Université Mohamed Khider - Biskra. Consulté le 27/05/2025 sur www.theses-algerie.com

[6] : Khelifi, N., & Djellouli, M. (2019). « Etude des techniques de dessalement de l'eau de mer et leurs impacts environnementaux ». Revue des Sciences et de la Technologie, Université de Biskra. Consulté le 20/05/2025 sur www.asjp.cerist.dz

[7] : Bouchekima, M., & Benyettou, A. (1998). « Etude comparative des procédés de dessalement thermique : distillation multi-effets et distillation flash multi-étages ». Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.

[8] : Adda, A. (2017). Modélisation dynamique et optimisation d'un système hybride de dessalement : osmose inverse et distillation thermique. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.

[9] : Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2001). *Pump Handbook*. Troisième édition McGraw-Hill.

[10] : Document technique de COSIDER. Travaux de raccordement aval à partir de la station de dessalement d'eau de mer de Bejaia (Wilaya de Bejaia) Lot n°01 : Tronçon SDEM- Point de bifurcation. E-mail : canalisation.dg@cosidercanalisation.dz

E-mail : cosider.canalisation.dg@gmail.com

[11] : Cabrera, E., Cobacho, R., & Soriano, J. (2014). Pump Stations: Design and Operation. IWA Publishing.

[12] : ADJATI, A. (2012). « Etude de la machine asynchrone à double étoile en pompage ». Magister Université A.Mira Bejaia.

[13] : Mott, R. L. (2006). Applied Fluid Mechanics (6th ed.). Pearson Education.

[14] : Benali, A. (2018). *Étude et optimisation des stations de pompage de surface*. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), Faculté des Sciences, Département de Génie Hydraulique, Oran, Algérie.

● Résumé:

Le projet porte sur l'étude de la station de pompage associée à la station de dessalement d'eau de mer de Tighremt, dans la wilaya de Bejaïa. Cette installation, utilisant la technologie d'osmose inverse, vise à produire 300 000 m³/jour d'eau potable pour alimenter jusqu'à 69 communes dans 4 wilayas.

L'étude aborde :

- Les aspects techniques du dessalement (osmose inverse, prétraitement, post-traitement),
 - Les types de pompes (centrifuges, immergées, à pistons...),
 - Le dimensionnement de la station (débit, HMT, rendement),
 - L'alimentation électrique (transformateurs, protection, relais SEPAM),
 - Les stratégies environnementales (réduction d'impact de la saumure, énergies renouvelables),
 - Et les normes techniques et de sécurité.
-

● Summary list:

The project focuses on the study of the pumping station connected to the Tighremt seawater desalination plant in the Bejaïa province. Using reverse osmosis technology, the station aims to produce 300,000 m³/day of potable water to supply 69 municipalities across 4 provinces.

The study includes:

- Desalination processes (reverse osmosis, pre-treatment, post-treatment),
 - Types of pumps used (centrifugal, submersible, piston...),
 - Station sizing (flow rate, total head, efficiency),
 - Electrical supply systems (transformers, protections, SEPAM relay),
 - Environmental strategies (brine impact reduction, renewable energy),
 - And relevant standards and safety measures.
-

الملخص:

يتناول هذا المشروع دراسة محطة الضخ التابعة لمحطة تحلية مياه البحر "تيغريمت" بولاية جاية. يستخدم المحطة تقنية "النناضج العكسي" لإنتاج 300,000 متر مكعب يومياً من المياه الصالحة للشرب لتزويد 69 بلدية في 4 ولايات.

يشمل المشروع:

- مراحل التحلية للأوزور (النناضج العكسي، المعالجة القبلية والبعدية،
- أنواع المضخات المستعملة (الطرد المركزي، المغمورة، المكبس...)،
- حسابات التصميم (التفق، الارتفاع،....)،
- التغذية الكهربائية (محولات، الحماية، مرحل).
- استراتيجيات بيئية (تقليل تأثير الرجع، الاعتماد على الطاقات المتجددة،
- �احترام المعايير التقنية والأمنية).