



**Ministère de l'Enseignement
Supérieur et la Recherche
Scientifique**



UNIVERSITE Saad DAHLAB - BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière: Hydraulique

**Spécialité : Ressources
Hydrauliques**

Thème:

**Etude de la performance de la
station de pompage Chegnoune
de la commune de
GUERROUAOU, Wilaya de Blida**

Présentée par :

ABDERRAHMANE Omar

Devant le jury composé de :

| | | | |
|-------------------------------|-----|-------------|-----------|
| Dr. OULARBI Azzedine | MCB | USD Blida 1 | Président |
| Dr. KARA OMAR Abdellah | MCB | USD Blida1 | Examineur |
| Dr. BOUACH Ahcene | MCB | USD Blida 1 | Promoteur |

Promotion 2021/2022

DEDICACES

A mes chers parents Mr ABDEERAHMANE Moussa et Mme TELDJOUNE Naima, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mon cher frère pour son appui et son encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A mes chers amis, et mes collègues de travail,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes surtout mes parents.

Je souhaite ici les en remercier.

Je tiens d'abord à remercier très chaleureusement Monsieur BOUACH.A qui m'a permis de bénéficier de son encadrement.

Les conseils qu'il m'a prodigués, la patience, la confiance qu'il m'a témoigné ont été déterminants dans la réalisation de mon travail de recherche.

Mes remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant les années des études.

Spécifiquement à l'ensemble des enseignants Mr OULARBI.A, et Mr, KARAR OMAR.A qui m'ont honoré le jury.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

ملخص :

يهدف هذا العمل إلى تقييم كفاءة الطاقة لمحطة قرواو بولاية البليدة. تم تنفيذه باستخدام نهج قائم على مؤشرات أداء الطاقة. تمثل هذه المؤشرات أداة فعالة لإدارة محطات الضخ. إنها تسهل تقييم محطات الضخ من حيث المكونات الهيدروليكية والطاقة. كما أنها تسمح بتشخيص النظام من خلال الكشف عن مصدر الخلل. أظهرت هذه الدراسة الحاجة إلى تقليل استهلاك الطاقة المفرط. لهذا الغرض ، تم اقتراح ودراسة جدول ضخ محسّن بواسطة الخوارزميات الجينية. كما أوضحت الدراسة أن مراقبة وتقييم محطات الضخ هي خطوة أساسية في إدارة الهياكل الهيدروليكية.

Résumé :

Ce travail a pour objectif l'évaluation de l'efficacité énergétique de la station de Guerrouaou dans la wilaya de Blida. Il a été effectué suivant une démarche basée sur les indicateurs de performance énergétique. Ces indicateurs représentent un outil efficace pour la gestion des stations de pompage. Ils facilitent l'évaluation des stations de pompage sur plan hydraulique et énergétique. Ils permettent également le diagnostic du système à travers la détection de la source de dysfonctionnement. Cette étude a montré la nécessité de minimiser la surconsommation énergétique. Pour cela, un planning de pompage optimisé par les algorithmes génétiques a été proposé et étudié. L'étude a montré également que le contrôle et l'évaluation des stations de pompage est une étape primordiale dans la gestion des ouvrages hydrauliques.

Abstract :

This work aims to evaluate the energy efficiency of the Guerrouaou station in the province of Blida. It was carried out using an approach based on energy performance indicators. These indicators represent an effective tool for the management of pumping stations. They facilitate the evaluation of pumping stations in terms of hydraulics and energy. They also allow the diagnosis of the system through the detection of the source of malfunction. This study showed the need to minimize energy overconsumption. For this, a pumping schedule optimized by genetic algorithms has been proposed and studied. The study also showed that the control and evaluation of pumping stations is an essential step in the management of hydraulic structures.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Liste des tableaux..... | |
| Liste des figures | |
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre I : Généralités sur les stations de pompage..... | 2 |
| 1.1. Introduction | 2 |
| 1.2. Les stations de pompage | 2 |
| 1.2.1. Les composantes d'une station de pompage..... | 2 |
| 1.2.2. Les différents types de stations de pompage..... | 3 |
| 1.2.3. Le fonctionnement d'une station de pompage..... | 4 |
| 1.2.4. Contraintes de réalisation et de fonctionnement d'une station de pompage | 5 |
| 1.3. Les pompes..... | 5 |
| 1.3.1. Définition | 5 |
| 1.3.2. Choix de la pompe..... | 6 |
| 1.3.3. Installation des pompes de surface | 8 |
| 1.3.4. Installation des pompes immergées..... | 8 |
| 1.3.5. Phénomène de cavitation | 9 |
| 1.4. Modes de fonctionnement des pompes..... | 10 |
| 1.4.1. Mode Manuel..... | 10 |
| 1.4.2. Mode Automatique | 11 |
| 1.5. Conclusion | 12 |
| Chapitre II : Evaluation de l'efficacité énergétique d'un système de pompage | 13 |
| 2.1. Introduction | 13 |
| 2.2. Indicateurs de performance | 13 |
| 2.3. Définition des valeurs de référence | 14 |
| 2.3.1. Valeurs de référence des paramètres de fonctionnement | 14 |
| 2.3.2. Valeurs de référence des paramètres de conception..... | 17 |
| 2.3.3. Valeurs de référence globale | 21 |
| 2.4. Indicateurs de conception énergétique du système de pompage | 22 |
| 2.5. Indicateurs de fonctionnement énergétique du système de pompage | 24 |
| 2.6. Evaluation énergétique globale | 24 |
| 2.7. Représentation arborescente des indicateurs de performance énergétique..... | 25 |
| 2.8. Conclusion | 28 |

| | |
|--|----|
| Chapitre III : Présentation de la zone d'étude..... | 29 |
| 3.1. Introduction | 29 |
| 3.2. La situation géographique | 29 |
| 3.3. La situation topographique..... | 30 |
| 3.4. La situation climatologique..... | 30 |
| 3.5. La situation géologique..... | 32 |
| 3.6. La situation hydrographique | 32 |
| 3.7. Descriptif de la structure d'alimentation en eau potable..... | 33 |
| 3.7.1. Schéma actuel | 33 |
| 3.7.2. Les ouvrages de système | 35 |
| 3.8. Conclusion | 42 |
| Chapitre IV : Evaluation de la performance de la station de pompage de Guerrouaou..... | 43 |
| 4.1. Introduction | 43 |
| 4.2. Les valeurs de référence de fonctionnement et de conception..... | 43 |
| 4.2.1. Volume de pompage optimal..... | 43 |
| 4.2.2. Rendement de pompage optimal | 45 |
| 4.2.3. Hauteur géométrique optimale | 45 |
| 4.2.4. Résistance hydraulique optimale | 49 |
| 4.2.5. Hauteur manométrique optimale | 49 |
| 4.2.6. Hauteur de fonctionnement optimale..... | 50 |
| 4.3. Les énergies optimales | 52 |
| 4.3.1. Energie optimale | 52 |
| 4.3.2. Energie de fonctionnement optimale..... | 53 |
| 4.4. Indicateurs de conception énergétique du système de pompage | 54 |
| 4.5. Indicateurs de fonctionnement énergétique du système de pompage | 56 |
| 4.6. Evaluation énergétique globale | 56 |
| 4.7. Analyse des indicateurs de performance énergétique..... | 57 |
| 4.8. Optimisation du fonctionnement du système de pompage | 59 |
| 4.9. Conclusion | 63 |
| Conclusion générale..... | 64 |
| Références bibliographique | |
| Annexe | |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 2.1 : Indicateurs de conception énergétique..... | 23 |
| Tableau 2.2 : Indicateurs de fonctionnement énergétique..... | 24 |
| Tableau 2.3 : Indicateurs de performance énergétique..... | 25 |
| Tableau 2.4 : Panel d'indicateurs de performance énergétique..... | 25 |
| Tableau 3.1 : Station pluviométrique de Soumaa..... | 30 |
| Tableau 3.2 : Précipitation moyenne (2013/2020) | 31 |
| Tableau 3.3 : Précipitations annuelles..... | 31 |
| Tableau 3.4 : Débit d'exploitation des forages de Guerrouaou | 33 |
| Tableau 3.5 : Les forages en exploitation..... | 35 |
| Tableau 3.6 : Production des forages..... | 35 |
| Tableau 4.1 : Les coordonnées de point le plus défavorable..... | 46 |
| Tableau 4.2 : Indicateurs de conception énergétique..... | 55 |
| Tableau 4.3 : Indicateurs de fonctionnement énergétique..... | 56 |
| Tableau 4.4 : Indicateurs de performance énergétique globale..... | 57 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1.1 : Equipements d'une station de pompage..... | 3 |
| Figure 1.2 : Vue en coupe d'une pompe centrifuge..... | 6 |
| Figure 1.3 : Armoire de commande d'une pompe..... | 11 |
| Figure 2.1 : Distances caractéristiques du système de pompage..... | 18 |
| Figure 2.2 : Hauteurs caractéristiques du système de pompage..... | 20 |
| Figure 2.3 : Diagramme de la détermination de la source de dysfonctionnement énergétique..... | 26 |
| Figure 2.4 : La représentation arborescente des IPE | 27 |
| Figure 3.1 : Communes limitrophes de Guerrouaou..... | 29 |
| Figure 3.2 : Wilaya de Blida, limites administratives..... | 30 |
| Figure 3.3 : Précipitation moyenne mensuelle..... | 31 |
| Figure 3.4 : Histogramme des précipitations annuelles..... | 32 |
| Figure 3.5 : Schéma synoptique d'AEP de chef-lieu de Guerrouaou | 34 |
| Figure 3.6 : Station de pompage Chegnoune de Guerrouaou..... | 36 |
| Figure 3.7 : Plaque signalétique de la pompe..... | 37 |
| Figure 3.8 : Plaque signalétique du moteur..... | 37 |
| Figure 3.9 : Les manomètres et les vannes..... | 39 |
| Figure 3.10 : Compteur hydraulique et la ventouse d'air | 40 |
| Figure 3.11 : Réservoir de distribution..... | 40 |
| Figure 3.12 : Carte d'inventaire des ouvrages de système d'AEP..... | 41 |
| Figure 4.1 : Courbe de modulation du réseau de distribution..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Figure 4.2 : Simulation EPANET du réseau de distribution..... | 46 |
| Figure 4.3 : Point de fonctionnement de la pompe..... | 51 |
| Figure 4.4 : La source de dysfonctionnement énergétique..... | 58 |
| Figure 4.5 : Représentation arborescente des IPE du planning ADE..... | 59 |
| Figure 4.6 : Plannings de pompage..... | 60 |
| Figure 4.7 : Evolution des réserves d'eau..... | 60 |
| Figure 4.8 : Evolution de la consommation énergétique..... | 61 |
| Figure 4.9 : Représentation arborescente des IPE du planning optimisé..... | 62 |

Liste des abréviations

IEP : Indicateurs énergétiques de performance

ADE : Algériennes des eaux

ANRH : Agence nationale des ressources hydriques

IGE : Indicateur globale énergétique

IGC : Indicateur globale de conception

IGF : Indicateur globale de fonctionnement

IHG : Indicateur de hauteur géométrique

IHG : Indicateur Hauteur géométrique

IL : Indicateur Longueur de conduite

ID : Indicateur Diamètre de conduite

IF : Indicateur Frottement

IPS : Indicateur Pertes singulières

IRH : Indicateur Résistance hydraulique

THG : Taux de hauteur géométrique

TPC : Taux des pertes de charge

PEC : Taux des pertes énergétiques de conception

IV : Indicateur de volume d'eau pompé

IH : Indicateur de pression de pompage

IR : Indicateur de rendement de pompage

PEF : Taux des pertes énergétiques de fonctionnement

PE : Taux des pertes énergétiques globales

Introduction Générale

Le rôle principal des sociétés de traitement et de distribution d'eau est d'approvisionner la population et de gérer au maximum les ressources. La croissance urbaine constante entraîne une augmentation de la demande en eau, et par conséquent, une partie de l'énergie générée est utilisée pour extraire et distribuer l'eau. Leur tâche principale est d'améliorer les services d'approvisionnement à un coût modéré.

Le secteur du traitement et de la distribution de l'eau dans l'Algérie nécessite une modernisation continue des infrastructures et des contrôles. Son objectif est de promouvoir l'utilisation efficace de l'eau et de l'énergie dans les réseaux d'eau potable. Les ressources économiques incomplètes de la région ont entravé l'élaboration d'un plan global et complet pour résoudre le problème. Les mesures d'efficacité énergétique, lorsqu'elles sont appliquées à des plans complets, peuvent être reportées. Parfois, il n'est même pas nécessaire d'investir dans des infrastructures supplémentaires. L'élaboration d'un plan global d'amélioration de l'efficacité énergétique des services publics de l'eau est un investissement viable parce que son gain se présente sous la forme d'économies de coûts opérations tout en améliorant les niveaux de service et en assurant la pérennité de l'entreprise finance.

Parmi les infrastructures qui nécessitent une grande part de l'énergie consommées, nous avons les systèmes d'alimentation en eau potable, et bien précisément les stations de pompage. Dans cette étude, nous avons étudié la station de pompage de Guerouaou, où nous avons mené une évaluation de la station à l'aide des indicateurs de performance. Nous avons également fait le diagnostic de la station en détectant les sources du dysfonctionnement. Enfin, nous avons établi certaines recommandations pour réduire la surconsommation énergétique de la station.

Chapitre I :

Généralités sur les stations de pompage

Chapitre I : Généralités sur les stations de pompage

1.1. Introduction :

Une station de pompage est un ouvrage hydraulique qui permet de déplacer un liquide, généralement de l'eau, d'un point bas vers un point haut via un réseau de canalisations. Ce type d'équipement est indispensable quand il est impossible d'alimenter un bassin en eau par simple gravité (1). Ce chapitre a pour but la présentation des stations de pompage, les équipements d'une station de pompage et les différents types des stations de pompage.

1.2. Les stations de pompage :

1.2.1. Les composantes d'une station de pompage :

Une station de pompage est constituée de deux parties : une partie **génie civil** et une partie **équipement**.

La partie **génie civil** doit regrouper plusieurs éléments :

- Chambre des équipements ;
- bêche (stockage intermédiaire entre l'arrivée d'eau et les pompes) ;
- Chambre des vannes ;
- Ouvrages annexes et aménagements divers (regards, locaux techniques, clôture, aire de manœuvre, espace vert, ...).

La partie **équipement** de la station de pompage comporte :

- Une ou plusieurs pompes ;
- Les conduites d'aspiration et de refoulements ;
- Des appareils de robinetterie (vannes d'isolement, clapets anti-retour, ...)
- Des appareils pour la mesure de débits (débitmètre électromagnétique) ;

- Un dispositif de fonctionnement automatique (automate programmable, poires de niveau, etc...) ;
- Appareils de protection éventuelle contre les coups de bélier ;
- Pièces spéciales et accessoires de raccordement (coudes, tés, manchettes de traversées, cônes de réduction, joints de montage, ...)
- Système de levage, d'accès et d'entretien (portique avec palan, échelles de descente, ...)
- Equipement électrique (alimentation électrique, poste transformateur éventuel, armoire électrique et de commande, éclairage, etc...).

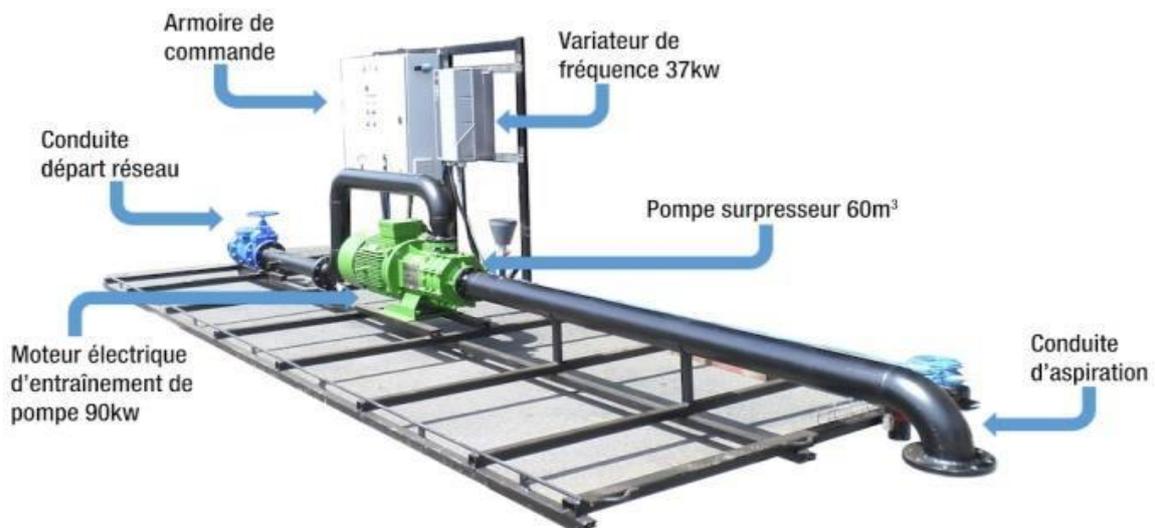


Figure 1.1 : Equipements d'une station de pompage

1.2.2. Les différents types de stations de pompage :

Il existe une grande variété de stations de pompages. Parmi les grands types d'installations les plus courants :

- Station de pompage à axe horizontal ;
- Station avec pompes verticales ;
- Station de pompage en série avec pompes centrifuges ;

- Station de pompage directe réalisée directement contre le réseau d'irrigation avec un débit fourni identique au débit demandé par les bornes d'irrigation ;
- Station de pompage immergé.

1.2.3. Le fonctionnement d'une station de pompage :

Les stations de pompage sont indispensables pour refouler l'eau dans un réseau d'alimentation en eau potables tels que les ouvrages de stockage. Les appareils de pompes sont généralement composés de pompes, de vannes, de clapets anti-retours, de tuyauterie et de chaudières anti-béliers : l'absence ou la panne d'un de ces éléments principaux nuit à leur bon fonctionnement.

La sécurité n'est pas non plus prise à la légère pour ce genre de matériel de pompage, généralement doté d'un système assurant la protection de la sortie de pompe, dont une vanne-clapet anti-retour ou un clapet. Le chaudière anti-bélier est un équipement destiné à assurer la protection des installations de pompage. Il agit aussi positivement en mettant les conduites à l'abri de certains phénomènes. Ils sont souvent liés au démarrage et à l'arrêt des pompes.

La tuyauterie est formée par une canalisation de grande taille qui est encore reconnue sous l'appellation « collecteur ». Ce dernier a pour principal rôle d'alimenter les pompes et est donc lié directement aux baches. La partie tuyauterie est encore munie des conduites de refoulement : son jeu de vannes veille à l'isolation des pompes et baches pour faciliter les éventuels travaux de maintenance.

Pour que l'équipement de pompage assure très bien sa mission, sa sortie doit être reliée à la conduite de refoulement. Elle est généralement

dotée d'un débitmètre ou encore d'un compteur ainsi que d'une vanne d'arrêt. (2)

Une station de pompage comporte au moins deux pompes pouvant fonctionner alternativement ou ensemble, ce qui présente deux avantages :

- Offrir une sécurité contre les pannes ;
 - Donner une capacité de pompage plus importante en cas de besoin.
- (3)

1.2.4. Contraintes de réalisation et de fonctionnement d'une station de pompage :

La conception d'une station de pompage adaptée à son environnement et à son objectif nécessite de prendre en considération de nombreux paramètres :

- Nature de la réserve d'eau ;
- Débits : minimal, moyen, maximal ;
- Qualité de l'eau : présence d'agents corrosifs, pH, température ;
- Intensité d'utilisation de la station : continue, intermittente, soutenue ;
- Plan des conduites d'aspiration et de refoulement ;
- Hauteur de refoulement ;
- Longueur et diamètre de la conduite de refoulement ;
- Disponibilités foncières etc.

1.3. Les pompes :

1.3.1. Définition :

Les pompes sont les générateurs de débit à la base de tous systèmes hydrauliques.

Dans un circuit hydraulique, leur rôle est de faire circuler un fluide qui va permettre de déplacer des charges grâce à d'autres composants tels que des vérins ou des moteurs.

Il existe deux catégories de pompes hydrauliques : les pompes à cylindrée fixe et les pompes à cylindrée variable.

Dans la catégorie des pompes à cylindrée fixe, on trouve quatre types de technologies différentes : les pompes à engrenages (externe ou interne), les pompes à palettes, les pompes à pistons et les pompes à vis.

Dans la catégorie des pompes à cylindrée variable, on trouve des pompes à palettes et des pompes à pistons intégrant des régulateurs de pression, de pression-débit (load-sensing) ou de puissance pour les applications en circuit ouvert et divers types de servo-commandes pour les applications de transmission en circuit fermé. (4)

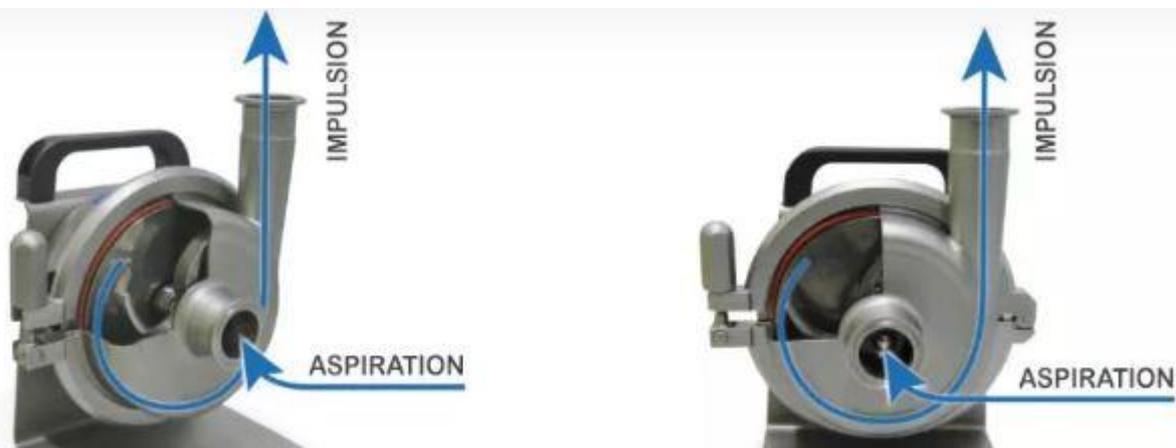


Figure 1.2 : Vue en coupe d'une pompe centrifuge

1.3.2. Choix de la pompe :

Pour pouvoir choisir une pompe qui correspond au besoin, on doit déterminer ses caractéristiques en fonction de son utilisation.

En premier lieu, on doit donc s'interroger sur le type de fluide qui doit être transféré afin d'éviter des phénomènes de corrosion et par conséquent l'usure prématurée de la pompe. Il est donc fondamental de

connaître la composition chimique du fluide à pomper, sa viscosité et l'éventuelle présence de composants solides. Une connaissance approfondie de toutes les propriétés physiques du fluide traité permet de choisir la technologie idéale pour son application et les matériaux de construction compatibles avec le fluide pompé. Il existe des tableaux de compatibilité chimique à consulter avant de choisir le corps de la pompe.

Ensuite, on doit vérifier les caractéristiques liées au transport du fluide, notamment :

- Le débit souhaité : exprimé généralement en m^3/h (mètres cubes par heure), l/s (litres par seconde) ou GPM (gallons par minute), le débit influence nécessairement la taille et les dimensions de la pompe ;
- La hauteur d'aspiration (hauteur entre l'entrée du tuyau d'aspiration et la pompe) : de façon générale, la hauteur d'aspiration ne doit pas dépasser 10 mètres. Au-delà il est nécessaire d'envisager l'utilisation d'une pompe immergée ;
- La hauteur de refoulement (hauteur entre la pompe et la sortie du tuyau de refoulement) ;
- La longueur du circuit de refoulement ;
- Les pertes en charges liées aux obstacles sur le circuit de pompage (vannes, coudes, etc.) ;
- La présence ou non d'un réservoir de refoulement qui pourrait modifier la pression ;
- La température dont dépendra le choix du corps de la pompe.

Ces différentes valeurs permettent de calculer le NPSHa (Net Positive Suction Head available ou hauteur de charge nette disponible) de l'installation. On peut ainsi choisir une pompe adaptée pour éviter tout risque de cavitation. On doit aussi contrôler le rendement ; (5)

1.3.3. Installation des pompes de surface :

Pour installer une pompe de surface, il est nécessaire de suivre quelques conseils cruciaux. Ainsi, pour commencer, la pompe doit être installée proche à la bêche d'aspiration. Par ailleurs, le tuyau d'aspiration doit être renforcé et doit avoir un diamètre idéalement plus grand à l'entrée de la pompe. Ce tuyau doit également être perméable et équipé d'un clapet anti-retour et d'une crépine. Pour le bon fonctionnement de la pompe, on doit placer la crépine à 50 cm du fond et à 30 cm sous l'eau. Ensuite, on doit remplir le tuyau d'évacuation et la pompe par de l'eau et le plus important, et qu'on n'oublie pas d'installer la pompe dans un endroit aéré, hors de la portée des intempéries et du gel et à l'abri du risque de condensation. (6)

1.3.4. Installation des pompes immergées :

Pour commencer, il est à noter que la pompe immergée étant plongée dans le liquide à évacuer est soumise à d'éventuels dangers comme le sable et l'échauffement qui sont ses plus grandes ennemies. Les sables, s'ils sont aspirés par la pompe, peuvent en effet abîmer les turbines de la pompe et perturber son fonctionnement. Ils vont également, dans ce cas, attaquer le moteur et interrompre son refroidissement. Cependant, une pompe immergée ne doit jamais marcher à sec pour la préserver du désamorçage. Ainsi, il est conseillé d'installer la pompe immergée à une distance de 0,7 mètre du fond et de 50 cm sous l'eau. A ce niveau, il est alors nécessaire d'avoir une hauteur de 2 mètres minimum au fond du puits pour l'installation. Pour remédier à la marche à sec, l'installation d'un dispositif de surveillance de niveau est indispensable.

Pour la première utilisation de la pompe, notamment la première semaine, il est toujours conseillé de ne pas trop forcer sur le débit et donc d'utiliser un faible débit. Cela permettrait à la pompe de s'installer correctement dans son coin. En outre, cette action va aussi permettre à la

pompe de ne pas aspirer du sable qui pourrait l'endommager rapidement. En outre, pour le bon fonctionnement de la pompe, il est nécessaire de nettoyer, ou plus précisément de faire nettoyer le forage par un professionnel avant d'installer une pompe immergée, surtout si celui-ci n'a pas été utilisé depuis longtemps. Dans le cas où la pompe est munie d'un coffret de démarrage ou de protection, on veille bien à placer ces accessoires de pompe dans un endroit propice, c'est-à-dire, dans un endroit sec et aéré. (6)

1.3.5. Phénomène de cavitation

Le phénomène de cavitation se produit lorsque le liquide pompé est proche de son point d'ébullition (c'est-à-dire de sa transformation en gaz, qui dépend de la température du liquide et de la pression à laquelle il est soumis). La cavitation est provoquée par la formation de bulles de vapeur qui implosent, générant un bruit qui peut être gênant et peut détériorer rapidement la pompe.

Il est donc important de vérifier que la pompe est bien adaptée à la configuration globale de l'installation et notamment à la hauteur d'aspiration. Pour éviter la cavitation dans une pompe, il est préférable d'anticiper la formation de bulles de gaz en vérifiant que la pompe est bien dimensionnée par rapport à l'installation. Cela nécessite le calcul d'une valeur appelée NPSHa (Net Positive Suction Head available ou hauteur de charge nette disponible), qui dépend du débit, de la pression, des pertes en charges et des hauteurs d'aspiration et de refoulement. Le fabricant de la pompe indique, lui, une valeur appelée NPSHr (Net Positive Suction Head required ou hauteur de charge nette requise). Ces deux valeurs sont exprimées en mètres, et pour que la pompe soit bien

dimensionnée, on doit vérifier que le NPSHa calculé est supérieur au NPSHr d'au moins 0,5 m.

Si le problème de cavitation se produit malgré tout, on peut envisager certaines modifications qui permettront d'augmenter le NPSHa, comme :

- Réduire la température du fluide à l'entrée de la pompe (en ajoutant un anneau de refroidissement par exemple).
- Diminuer la vitesse de la pompe.
- Installer un tuyau d'aspiration de plus gros diamètre.
- Réduire les pertes en charges (dus notamment aux frottements) en supprimant les virages et les vannes inutiles.

On peut aussi réduire le NPSHr en prenant par exemple les mesures suivantes :

- Réduire le diamètre du tuyau de refoulement.
- Installer une vanne d'étranglement sur le circuit de refoulement.
- Remplacer la pompe par une pompe plus adaptée aux conditions de fonctionnement. (5)

1.4. Modes de fonctionnement des pompes :

Il existe deux modes de fonctionnement des pompes :

- le mode manuel
- et le mode automatique.

Chaque pompe de refoulement aura son propre commutateur *Manu / Auto* incrusté dans l'armoire de commande correspondante (Figure 1.3).

1.4.1. Mode manuel :

Ce mode est sélectionné lorsque les commutateurs *Manu / Auto* sont sur la position *Manu*. En mode manuel, la station de pompage est sous le contrôle de l'opérateur qui peut commander le démarrage, l'arrêt

ou l'effacement des défauts de n'importe quelle pompe et cela depuis les armoires de commande. Ce mode n'est choisi que pour :

- Des opérations de maintenance ;
- Des réglages internes ;
- Des tests ;
- Ou en cas de défaillance.

1.4.2. Mode automatique :

Ce mode est sélectionné lorsque les commutateurs Manu / Auto sont sur la position Auto. En mode Automatique, aucune intervention sur site n'est nécessaire.

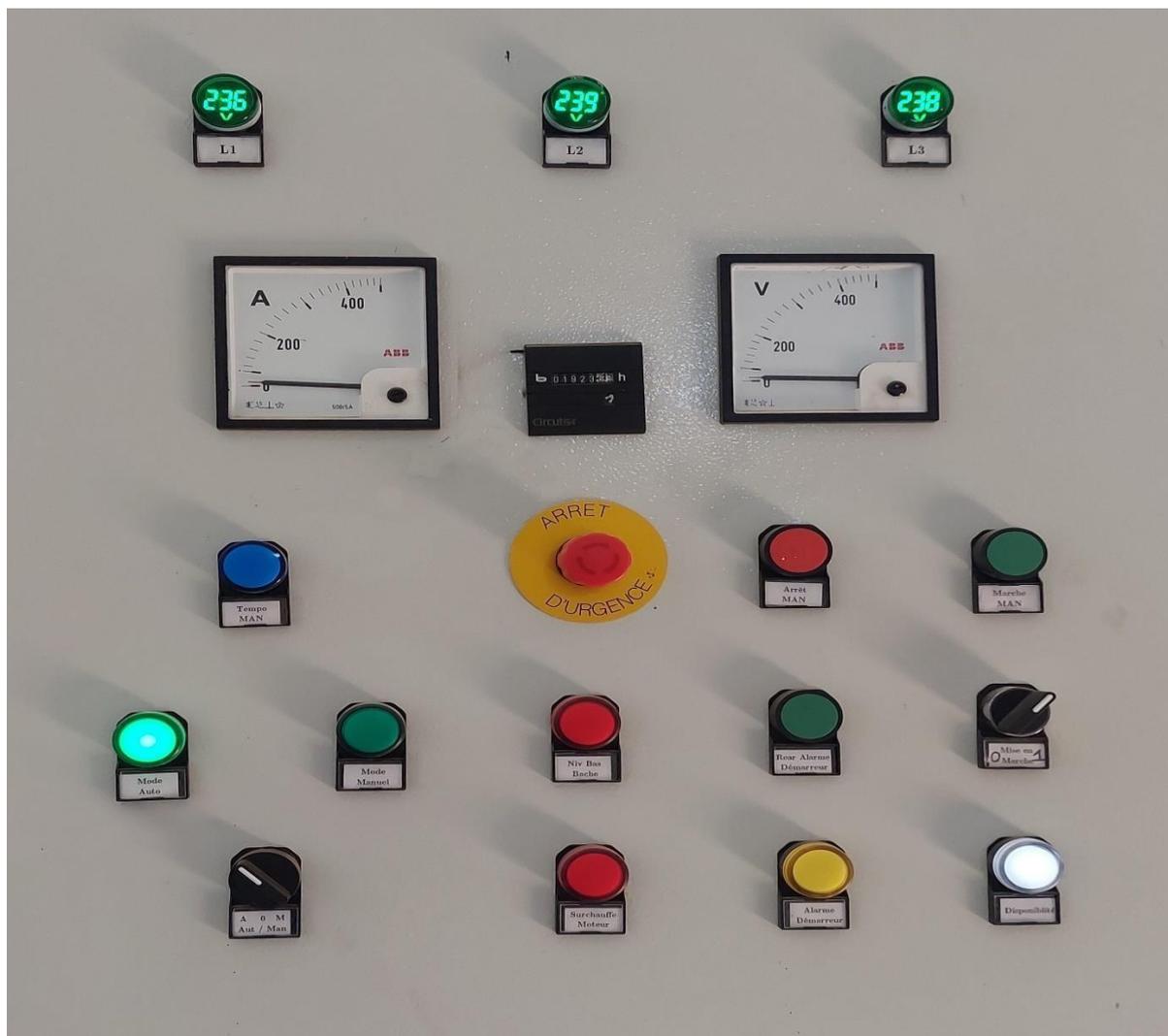


Figure 1.3 : Armoire de commande d'une pompe.

1.5. Conclusion :

Ce premier chapitre a été consacré aux rappels théoriques de fonctionnement des stations de pompage, et de choix des pompes et leurs importances pour les systèmes d'alimentation en eau potable.

En effet, le transfert des liquides d'une zone vers une autre nécessite souvent des stations de pompage, et en particulier si le point d'arrivée est plus élevé que le point de départ ou s'il y a de grandes pertes de charge dans le système.

Dans le domaine d'hydraulique, ce cas est fréquent dans l'adduction des eaux potables et transfert.

Chapitre II :

Evaluation de l'efficacité énergétique d'un système de pompage

Chapitre II : Evaluation de l'efficacité énergétique d'un système de pompage

2.1. Introduction :

La tendance actuelle des méthodes de gestion des systèmes complexes est basée souvent sur l'emploi des indicateurs de performance. Ces indicateurs permettent d'évaluer l'efficacité de ces systèmes.

Dans les systèmes d'alimentation en eau potable et en particulier au niveau des stations de pompage on peut utiliser des indicateurs de performance pour mesurer leur efficacité et efficacité sur le plan hydraulique et énergétique.

Il est important de mesurer, d'enregistrer et d'analyser ces indicateurs en permanence dans les différentes compagnies des eaux, car les résultats peuvent refléter les progrès réalisés et permettre d'établir d'autres politiques et programmes pour accroître l'efficacité de ces systèmes. (7)

2.2. Indicateurs de performance :

Les indicateurs de performance représentent un outil qui permet d'évaluer l'état et la performance d'un système quelconque sur un sujet précis : énergie, service, économie...etc.

« Les indicateurs de performance sont des outils de plus en plus utilisés pour évaluer la qualité d'un produit ou d'un service. Ils sont présents dans des domaines aussi variés que la santé publique, l'éducation, l'industrie ou les services et font partie dorénavant du langage courant » (9).

Les problèmes de surconsommation énergétique des stations de pompage peuvent être dus à un mauvais dimensionnement des ouvrages et équipements dans la phase étude, ou à une mauvaise gestion des pompes dans la phase

exploitation. Pour cela, nous avons choisi trois types d'indicateurs permettant l'évaluation énergétique du système de pompage (8) :

- Indicateurs de performance énergétique globale :
L'indicateur global sur une zone géographique permet d'estimer la performance énergétique liée non seulement à l'efficacité énergétique des stations de pompage, mais aussi à l'efficacité du réseau de distribution (canaux, réseaux). Tous les m³ qui partent dans les fuites étaient en effet des kWh perdus.
- Indicateurs de performance énergétique de conception :
Qui permettent d'évaluer dimensionnement des ouvrages et équipements des systèmes de pompage dans la phase étude.
- Indicateurs de performance énergétique de fonctionnement :
Qui permettent l'évaluation de la gestion des pompes dans la phase exploitation.

Les indicateurs choisis peuvent délimiter la source du dysfonctionnement à l'aide d'une représentation arborescente des indicateurs. Ceci aidera les gestionnaires à choisir quelle méthode à utiliser pour régler le problème de la surconsommation. (8)

2.3. Définition des valeurs de référence

Afin de situer la performance énergétique de chaque paramètre de système de pompage par rapport à des paliers de performance, nous avons défini pour chaque paramètre une ou plusieurs valeurs de référence (10). Ces dernières peuvent être données par le constructeur, ou calculées en fonction de la performance du paramètre à évaluer (8).

2.3.1. Valeurs de référence des paramètres de fonctionnement

Volume de pompage optimal :

Le volume de pompage optimal est le volume nécessaire pour satisfaire la demande en eau, tenant compte du volume initial

dans le réservoir, tout en respectant le volume minimal dans le réservoir. Le volume optimal est donné par la relation suivante (8) :

$$V_{opt} = V_d - V_i + V_{min}$$

V_d : volume d'eau demandé ;

V_i : volume d'eau initial dans le réservoir ;

V_{min} : volume d'eau minimal dans le réservoir.

Le volume horaire optimal est calculé par la formule suivante :

$$V_{h.opt} = \frac{V_{opt}}{T_p}$$

T_p : temps de pompage.

Rendement de pompage optimal :

Le rendement de pompage doit correspondre au rendement maximal des pompes. Sachant que ce dernier varie d'une pompe à l'autre selon les performances énergétiques internes de la pompe (8).

$$\eta_{opt} = \eta_{max}$$

η_{opt} : rendement de pompage optimal ;

η_{max} : rendement maximal des pompes

Hauteur manométrique optimale :

Pour évaluer la hauteur manométrique totale, nous utilisons deux valeurs de référence, à savoir : la hauteur manométrique

optimale H_{opt} et la hauteur manométrique optimale de fonctionnement $H_{f.opt}$ (8).

La hauteur manométrique optimale est la pression requise par le système de pompage dans le cas où la conception du système est optimale (résistance hydraulique et hauteur géométrique ont des valeurs optimales) et le fonctionnement des pompes est optimal (débit de pompage optimal) également. Cette hauteur est donnée par l'expression suivante (8) :

$$H_{opt} = H_{g.opt} + r_{h.opt} Q_{opt}^2$$

H_{opt} : hauteur manométrique optimale [m] ;

$H_{g.opt}$: hauteur géométrique optimale [m] ;

$r_{h.opt}$: résistance hydraulique optimale [h^2/m^5]

Q_{opt} : débit de pompage optimal [m^3/h].

Cependant, la hauteur manométrique optimale de fonctionnement correspond à la hauteur manométrique requise dans le cas d'un fonctionnement optimal des pompes (débit de pompage optimal). (8) En effet, pour calculer cette hauteur de référence, on ne tient pas compte des caractéristiques de conception optimales telles que la hauteur géométrique, et la résistance hydraulique (diamètre, longueur des conduite, ...), mais on s'intéresse uniquement au fonctionnement optimal à travers les variables de fonctionnement (le débit, la pression et le rendement des pompes) (8) :

$$H_{f.opt} = H_g + \Delta H_{f.opt}$$

$\Delta H_{f,opt}$: les pertes de charge de fonctionnement optimal.

Sa formule est donnée par la relation suivante :

$$\Delta H_{f,opt} = r_h \cdot Q_{opt}$$

r_h : résistance hydraulique du système de pompage.

Débit de fonctionnement optimal :

Le débit de fonctionnement optimal est le rapport entre le volume optimal et le temps d'optimisation. Dans notre cas, l'expression du débit optimal est donnée par l'équation suivante (8) :

$$Q_{opt} = \frac{V_{opt}}{T_{opt}}$$

T_{opt} : temps d'optimisation, dans notre cas le temps d'optimisation est 24 heures.

2.3.2. Valeurs de référence des paramètres de conception :

Résistance hydraulique optimale :

La résistance hydraulique optimale est donnée par l'équation suivante (8) :

$$r_{h,opt} = \frac{8 \times \lambda_{opt} \times L_{opt}}{\pi^2 \times g \times D_{opt}^5}$$

La résistance hydraulique a une valeur optimale lorsque les trois variables de l'équation ont des valeurs optimales.

λ_{opt} : coefficient optimal de pertes de charge linéaire ;

D_{opt} : diamètre optimal de conduites.

L_{opt} : longueur optimale de la conduite, par définition la longueur optimale est la distance directe entre le point d'aspiration et le point de puisage au niveau de château d'eau ;

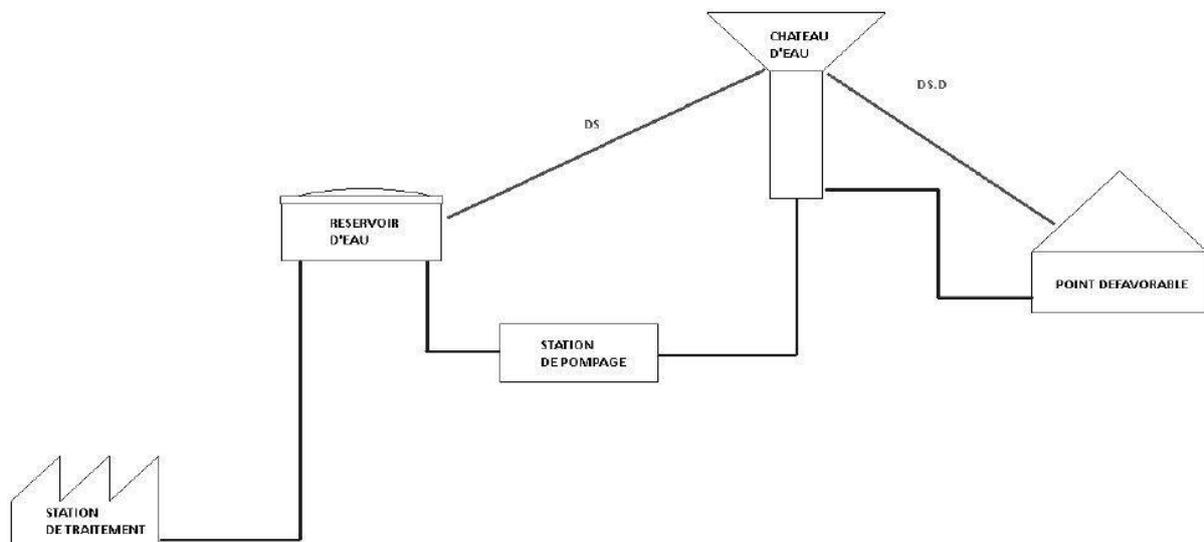


Figure 2.1 : Distances caractéristiques du système de pompage (8).

Hauteur géométrique optimale $H_{g.opt}$:

Pour que la hauteur géométrique du système de pompage soit optimale, il faut que le château d'eau soit bien dimensionné en choisissant le meilleur emplacement et en utilisant les meilleures dimensions des conduites en termes de longueur et de diamètre afin de réduire les pertes de charge entre le château d'eau et le point défavorable du réseau de distribution, ce qui permet d'avoir une hauteur géométrique optimale du réservoir. Le calcul de cette hauteur se fait selon la formule suivante (8):

$$H_{g.opt} = H_{pd} + \Delta H_{d.opt} + H_{ce} - C_{ra}$$

C_{ra} : côte du réservoir d'aspiration ;

H_{pd} : hauteur du point défavorable du réseau de distribution, elle est donnée par l'expression suivante :

$$H_{pd} = C_{pd} + H_{pd.min}$$

C_{pd} : côte du point défavorable ;

$H_{pd.min}$: hauteur minimale au point défavorable

H_{ce} : hauteur du château d'eau, elle est donnée par la formule suivante :

$$H_{ce} = C_{tp} - C_r$$

C_{tp} : côte du trop-plein du château d'eau,

C_r : côte du radier du château d'eau.

$\Delta H_{d.opt}$: pertes de charge optimale entre le château d'eau et le point défavorable.

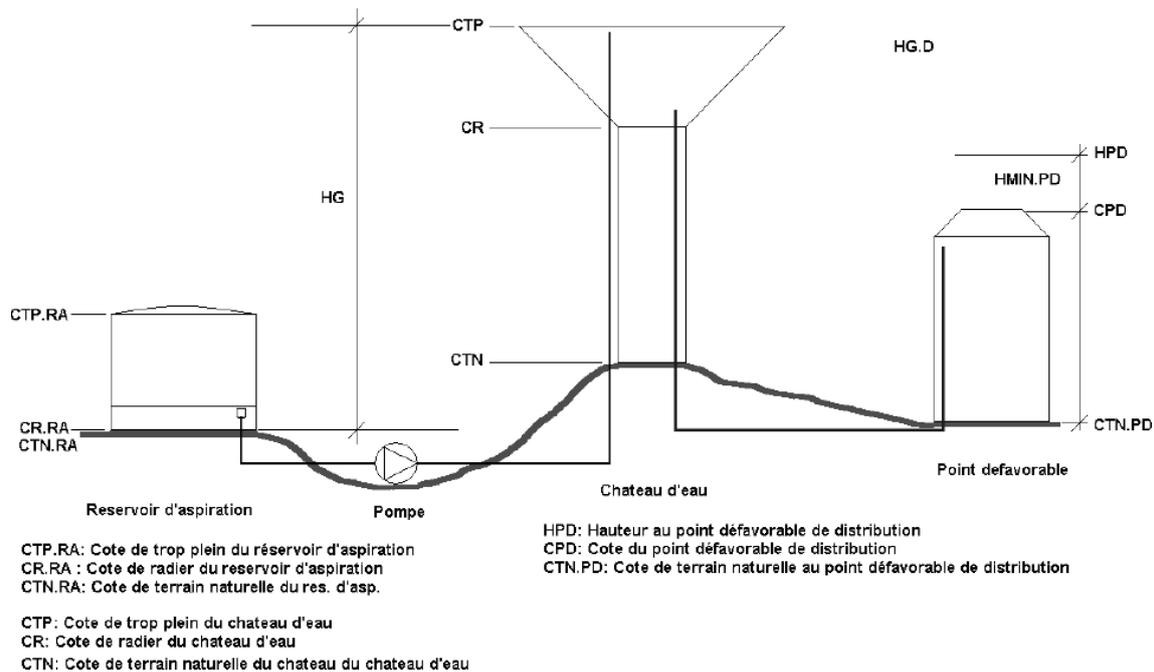


Figure 2.2 : Hauteurs caractéristiques du système de pompage (8).

Comme le montre la relation de Darcy-Weisbach pour que les pertes de charge entre le château d'eau et le point le point défavorable soient minimales, il faut que la conduite de distribution reliant les deux point soit bien dimensionnée, c'est-à-dire la longueur, le diamètre et la rugosité de conduite doivent avoir des valeurs optimales.

$$\Delta H = \frac{8 * \lambda * L * Q_p^2}{\pi^2 * g * D^5}$$

La longueur de distribution optimale correspond à une longueur de distribution la plus petite possible. Pour avoir une valeur de référence pour le calcul des indicateurs de performance nous avons considéré que cette longueur est égale à la distance directe entre le château d'eau et point défavorable (8).

$$L_{d.opt} = DS_d$$

Le diamètre de distribution optimal est calculé de la même manière que le diamètre d'adduction, la seule différence réside dans le débit d'écoulement, où dans le cas de distribution on utilise le débit horaire maximal (8).

$$D_{d.opt} = \sqrt{\frac{4 * Q_{h.max}}{\pi * v_d}}$$

On calcule le coefficient de frottement optimal pour la partie distribution de la même manière que pour la partie pompage.

2.3.3. Valeurs de référence globale :

Energie optimale :

La formule générale de l'énergie consommée est donnée par l'équation suivante (8) :

$$E_{opt} = \frac{\rho * g * H_{opt} * V_{opt}}{3600 * \eta_{opt}}$$

E_{opt} : énergie optimal [KWh] ;

H_{opt} : hauteur manométrique optimale [m] ;

V_{opt} : volume de pompage optimal [m³] ;

η_{opt} : rendement de pompage optimal [%].

Pour que l'énergie soit optimale il faut que les trois variables de cette équation (Hauteur, volume et rendement de pompage) aient des valeurs optimales

Energie de fonctionnement optimale :

Le calcul de l'énergie de fonctionnement optimale consiste à utiliser la hauteur de fonction optimale à la place de la hauteur optimale dans l'expression de l'énergie. Cette énergie correspond à l'énergie consommée par un fonctionnement idéal des pompes sans modifier les paramètres de conception (8):

$$E_{f.opt} = \frac{\rho * g * H_{f.opt} * V_{opt}}{3600 * \eta_{opt}}$$

E_{f.opt} : énergie de fonctionnement optimal [KWh] ;

H_{f.opt} : hauteur de fonctionnement optimale [m].

2.4. Indicateurs de conception énergétique du système de pompage :

La consommation énergétique d'un système de pompage dépend également des paramètres de conception qui sont déterminant dans la consommation énergétique. Ces paramètres sont classés en deux (8) :

- Hauteur géométrique du système de pompage ;
- Paramètres des pertes de charge (Diamètre, longueur, force de viscosité, et singularités).

Les différents paramètres de conception doivent avoir des valeurs optimales pour réduire l'énergie de pompage. Afin d'évaluer un éventuel dysfonctionnement énergétique à cause d'un paramètre mal dimensionné, nous avons utilisé des indicateurs comparant les paramètres de conception du système à des valeurs optimales, afin d'évaluer leur impact sur la consommation énergétique (8). Le tableau ci-dessous résume la liste des indicateurs de la partie conception.

Tableau 2.1 : Indicateurs de conception énergétique (8)

| Indicateur de performance | Formule | Signification |
|--|---|---|
| Hauteur géométrique | $IHG = \frac{\overline{H_{g.opt}}}{H_g}$ | Evaluation de la hauteur géométrique du système de pompage |
| Longueur de conduite | $ILA = \frac{L_{opt}}{L_a}$ | Evaluation de la longueur de la conduite d'aspiration |
| | $ILR = \frac{L_{opt}}{L_r}$ | Evaluation de la longueur de la conduite de refoulement |
| Diamètre de conduite | $IDA = \left(\frac{D_a}{D_{opt}}\right)^5$ | Evaluation du diamètre de la conduite d'aspiration |
| | $IDR = \left(\frac{D_r}{D_{opt}}\right)^5$ | Evaluation du diamètre de la conduite de refoulement |
| Frottement | $IFA = \frac{\overline{\lambda_{opt}}}{\lambda_a}$ | Evaluer les pertes de charge dues aux frottements des particules entre eux et aux parois de la conduite d'aspiration (rugosité) |
| | $IFR = \frac{\overline{\lambda_{opt}}}{\lambda_r}$ | Evaluer les pertes de charge dues aux frottements des particules entre eux et aux parois de la conduite de refoulement (rugosité) |
| Pertes singulières | $IPS = \frac{1}{\alpha_s}$ | Evaluer l'effet des pertes singulières |
| Résistance hydraulique | $IRH = \frac{\overline{r_{h.opt}}}{r_h}$ | Evaluation de la résistance hydraulique de la conduite d'adduction |
| Taux de hauteur géométrique | $THG = \frac{\overline{H_g}}{H_{f.opt}}$ | Part de l'énergie consommée par la hauteur géométrique du système de pompage |
| Taux des pertes de charge | $TPC = \frac{\overline{r_h \times Q_{opt}^2}}{H_{f.opt}}$ | Part de l'énergie consommée par les pertes de charges du système de pompage |
| Indicateur global de conception | $IGC = \frac{\overline{E_{opt}}}{E_{f.opt}}$ | Evaluation des variables de conception du système de pompage |
| Perte énergétique de conception | $\Delta E_c = E_{f.opt} - E_{opt}$ | Evaluation des pertes énergétiques engendrées par le mauvais dimensionnement des paramètres de conception |
| Taux des pertes énergétiques de conception | $PEC = \frac{\Delta E_c}{E_{f.opt}} \times 100$ | Le taux de l'énergie perdue à cause du mauvais dimensionnement par rapport à l'énergie de fonctionnement optimale |

2.5. Indicateurs de fonctionnement énergétique du système de pompage :

La deuxième famille des indicateurs concerne l'évaluation de la consommation énergétique, en se limitant aux paramètres de fonctionnement des pompes qui sont le volume d'eau pompée, la hauteur et le rendement de pompage (8). Le tableau ci-dessous donne la liste des indicateurs de fonctionnement du système de pompage.

Tableau 2.2 : Indicateurs de fonctionnement énergétique (8)

| Indicateur de performance | Formule | Signification |
|--|---|--|
| Indicateur de volume d'eau pompé | $IV = \frac{V_{opt}}{V}$ | Evaluation du volume d'eau pompé |
| Indicateur de pression de pompage | $IH = \frac{H_{f.opt}}{H}$ | Evaluation de la pression fournie par les pompes |
| Indicateur de rendement de pompage | $IR = \frac{\eta}{\eta_{opt}}$ | Evaluation du rendement de fonctionnement des pompes |
| Indicateur globale de fonctionnement | $IGF = \frac{E_{f.opt}}{E}$ | Evaluation des variables de fonctionnement du système de pompage |
| Perte énergétique de fonctionnement | $\Delta E_f = E - E_{f.opt}$ | Evaluation des pertes énergétiques engendrées par les paramètres de fonctionnement |
| Taux des pertes énergétiques de fonctionnement | $PEF = \frac{\Delta E_f}{E} \times 100$ | Taux des pertes énergétiques du fonctionnement par rapport à l'énergie consommée |

2.6. Evaluation énergétique globale :

L'évaluation énergétique globale du système de pompage donne une idée générale sur la consommation énergétique du système. Elle permet de déterminer la surconsommation et de comparer entre plusieurs scénarii de pompage. Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des indicateurs de performance énergétique globale (8).

Tableau 2.3 : Indicateurs de performance énergétique globale (8)

| Indicateur de performance | Formule | Signification |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Indicateur global d'énergie | $IGE = \frac{E_{opt}}{E}$ | Evaluation énergétique globale du système de pompage |
| Pertes énergétiques globales | $\Delta E = E - E_{opt}$ | Evaluation globale des pertes énergétiques de conception et de fonctionnement |
| Taux des pertes énergétiques globales | $PE = \frac{\Delta E}{E} \times 100$ | Part des pertes énergétiques globales par rapport à l'énergie consommée par le système de pompage |

2.7. Représentation arborescente des indicateurs de performance énergétique :

La représentation arborescente des IPE permet une meilleure compréhension et visualisation des résultats. Elle facilite également le diagnostic énergétique du système en détectant la source du dysfonctionnement énergétique.

Cette représentation s'appuie sur un panel d'indicateurs, et sur un algorithme permettant la détermination de la source du dysfonctionnement énergétique (8).

Tableau 2.4 : Panel d'indicateurs de performance énergétique

| Valeur de l'indicateur | Classe d'indicateur | Explication |
|------------------------|---------------------|--|
| [0 – 0.5] | Très faible | Surconsommation très importante |
|]0.5 - 0.7] | Faible | Surconsommation importante |
|]0.7 – 0.9] | Bon | Surconsommation faible |
|]0.9 - 1] | Excellent | Surconsommation négligeable |

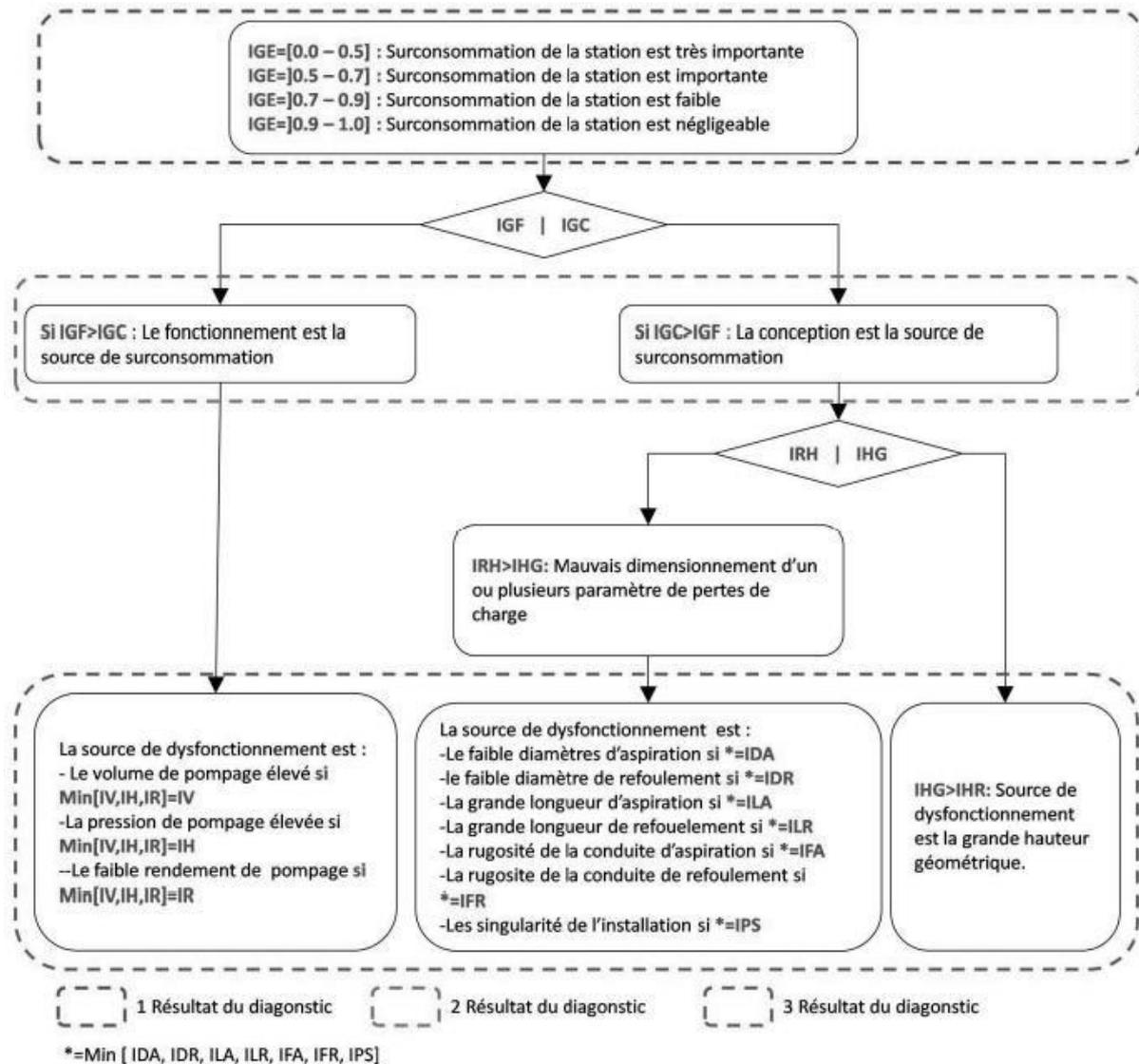


Figure 2.3 : Diagramme de la détermination de la source du dysfonctionnement énergétique

Il faut noter qu'à ce stade tous les indicateurs sont pondérés par une pondération unitaire à l'exception de l'indicateur de résistance hydraulique IRH et l'indicateur de la hauteur géométrique IHG qui sont pondérés par le taux de pertes de charge TPC et le taux de hauteur géométrique THG successivement. La figure ci-dessous montre la représentation arborescente des IPE.

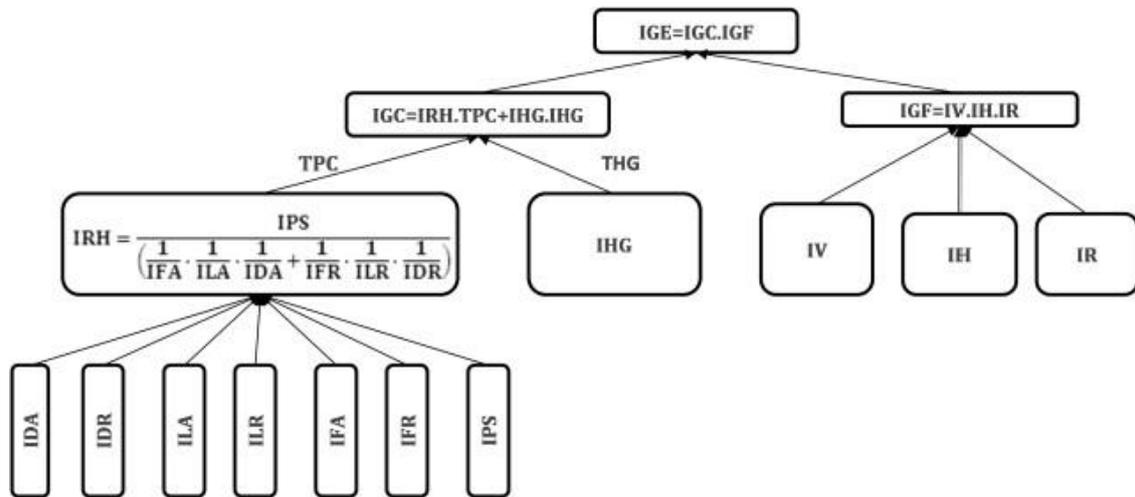


Figure 2.4 : La représentation arborescente des IPE

2.8. Conclusion :

Les indicateurs de performance énergétique constituent un outil efficace pour l'évaluation énergétique des systèmes de pompage, ils facilitent grandement cette tâche et fournissent aux gestionnaires de système une compréhension de la situation énergétique, leur permettant de prendre les décisions appropriées pour optimiser la consommation d'énergie.

Une évaluation générale de la consommation d'énergie est donnée par le

« Global Energy Index » IGE. Pour les paramètres de conception, le « Global Design Indicator » IGC donne une note globale sur la partie conception. Et pour les paramètres opérationnels, c'est l'indicateur global de fonctionnement IGF qui permet d'évaluer les variables de fonctionnement.

La représentation arborescente des indicateurs de performance énergétique est une méthode simple et précise de diagnostic énergétique des systèmes de pompage. La méthode s'appuie sur un ensemble d'IEP afin de détecter les sources de surconsommation énergétique.

Chapitre III :

Présentation de la zone d'étude

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

3.1. Introduction :

Ce chapitre a pour but la présentation de la zone d'étude ainsi que la station de pompage qui alimente cette dernière en eau potable,

Nous allons donc présenter les différentes caractéristiques techniques du système d'alimentation en eau potable.

3.2. La situation géographique :

La commune de Guerrouaou (Figure 3.2) est située au centre de la wilaya de Blida, à environ 6 km au nord-est de chef-lieu de Blida et à environ 40 km au sud-ouest de la wilaya d'Alger. La wilaya de Blida est située au Nord du territoire national, elle est délimitée :

- A l'Est par la Wilaya de Boumerdas;
- Au Sud par les Wilayas de Medea et de Bouira ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'Ain Defla ;
- Au Nord par les Wilayas d'Alger et de Tipaza.



Figure 3.1 : Communes limitrophes de Guerrouaou



Figure 3.2 : Wilaya de Blida, limites administratives

3.3. La situation topographique :

La commune de Guerrouaou est caractérisée par une forte dénivelée dont les altitudes varient entre 94 m jusqu'au 345 m du nord au sud.

3.4. La situation climatologique :

La région étudiée bénéficie d'un climat méditerranéen à tendance subhumide, caractérisée par un hiver pluvieux et doux s'étalant du mois d'Octobre au mois de Mars et un été chaud et sec du mois d'Avril au mois de Septembre. (A.N.R.H) .

Pluviométrie :

Afin de caractériser les tendances générales des différents paramètres climatiques de la zone d'étude, on a utilisé une série des données climatiques mensuelles et annuelles allant de 2013 à 2020 enregistrées au niveau de la station pluviométrique de Soumaa.

Tableau 3.1 : Station pluviométrique de Soumaa

| Station | Code ANRH | Coordonnées en Lambert | | Altitude (m) |
|---------|-----------|------------------------|-------|--------------|
| | | X | Y | |
| Soumaa | 021234 | 517.45 | 355.9 | 177 |

Précipitation moyennes mensuelles

Selon l'annuaire pluviométrique établie par l'agence nationale des ressources hydraulique (ANRH), elle est répartie sur les mois pluvieux qui vont du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril, notons que pendant l'été les pluies sont rare.

Tableau 3.2 : Précipitation moyenne mensuelle (2013/2020) selon ANRH

| Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | aout |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|------|---------|------|
| Précipitation mm | 30 | 42 | 111 | 96 | 112 | 85 | 93 | 65 | 36 | 19 | 0 | 7 |

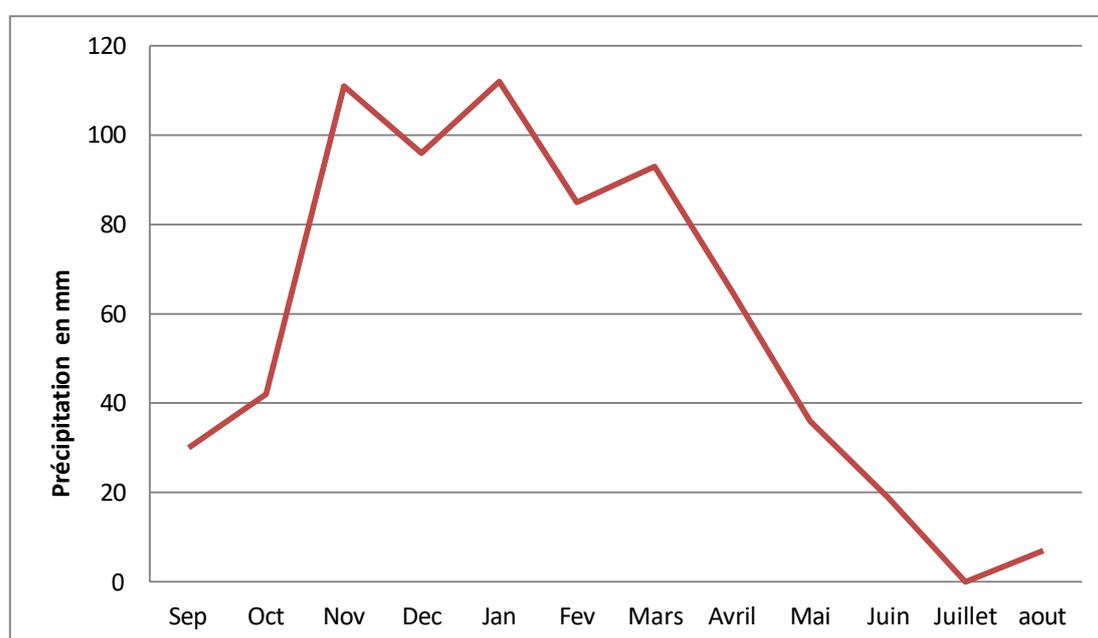


Figure 3.3 : Précipitation moyenne mensuelle

Précipitation annuelles

La pluviosité moyenne annuelle de la station est d'environ 631 mm, avec une valeur minimale de 400 mm enregistrée en 2020 et une valeur maximal de 882 mm enregistrée en 2017.

Tableau 3.3 : Précipitation annuelles

| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Précipitation mm | 588,3 | 610,1 | 626,5 | 687,2 | 882,4 | 660,8 | 585,9 | 400,8 |

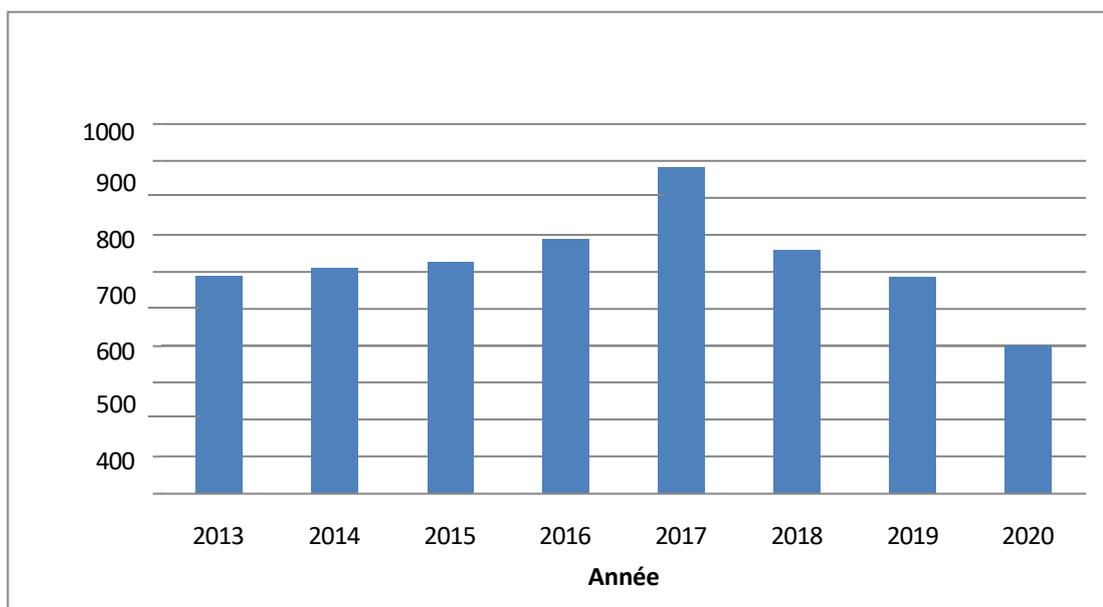


Figure 3.4 : Histogramme des précipitations annuelles

3.5. La situation géologique :

Selon l'ANRH la ville de Guerrouaou fait partie de la Mitidja qui est un grand bassin alluvionnaire constitué de :

- Marnes et argiles grisâtre et bleuâtre, schisteuses par endroits et carbonaté du crétacé inférieur ;
- Eboulis, conglomérats, graviers dans une matrice limono argileuse occupant les parties basses du piémont, les graviers, alluvions, les sables de la plaine.

3.6. La situation hydrographique :

Il existe deux (02) oueds qui traversent la commune de Guerrouaou : Oued Beni Mered et Oued El-Khermis.

3.7. Descriptif de la structure d'alimentation en eau potable :

3.7.1. Schéma actuel :

La ville de Guerrouaou est située dans le bassin d'alimentation du champ de captage de la Mitidja.

Actuellement la ville de Guerrouaou est alimentée par les eaux souterraines de neuf (09) forages qui sont en exploitation. La production des forages de Guerrouaou sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 3.4 : Débit d'exploitation des forages de Guerrouaou

| Désignation des forages | Débit d'exploitation (l/s) | Production horaire (m ³ /h) | Production journalière (m ³ /j) |
|-------------------------|----------------------------|--|--|
| F1 bis | 10 | 36 | 864 |
| F2 | 2 | 7.2 | 172.8 |
| F4 | 7 | 25.2 | 604.8 |
| F6 | 4 | 14.4 | 345.6 |
| F7 | 9 | 32.4 | 777.6 |
| F8 | 5 | 18 | 432 |
| F9 | 4 | 14.4 | 345.6 |
| F10 | 5 | 18 | 432 |
| F11 | 2 | 7.2 | 172.8 |
| TOTAL | 48 | 172.8 | 4147.2 |

Source : Statistiques de l'ALGERRIENES DES EAUX 2022

En plus des forages, une source de captage en période hivernale alimente l'agglomération et ses environs et renforce l'alimentation de chef-lieu de Guerrouaou.

Cette eau souterraine (forages) est refoulée à travers des conduites de différents diamètres en PVC, en PEHD et en acier enrobé vers le réservoir d'aspiration d'une capacité de 400 m³.

Une station de pompage avec une capacité de pompage de 446 m³/h est l'intermédiaire entre la production des forages et le réservoir de distribution d'une capacité de 1500 m³ garantissant la distribution d'eau potable aux abonnés de Guerrouaou avec une conduite DN 300 en amiante ciment.

Schéma synoptique d'AEP de chef-lieu de Guerrouaou

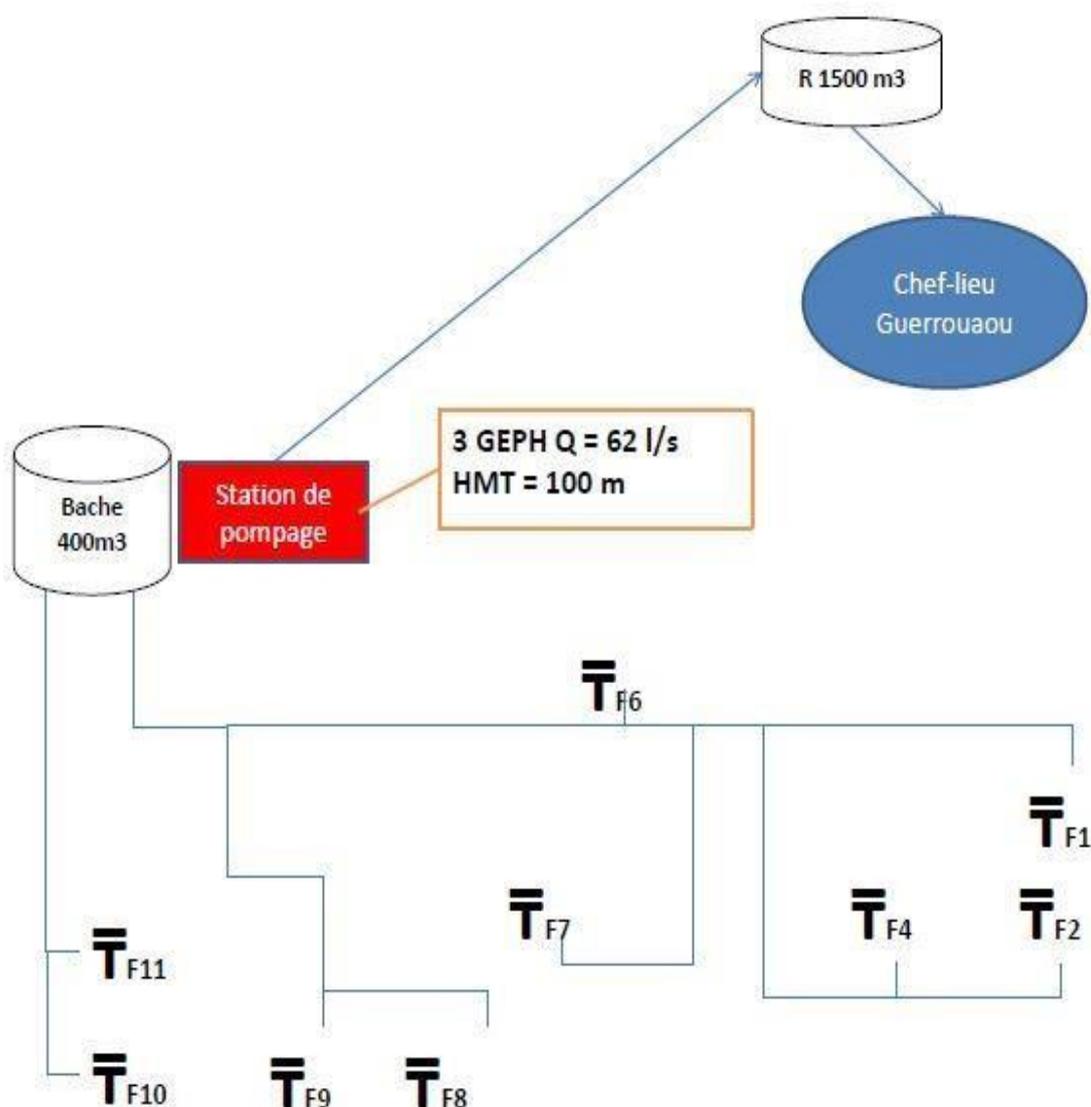


Figure 3.5 : Schéma synoptique d'AEP de chef-lieu de Guerrouaou

3.7.2. Les ouvrages de système :

Les ouvrages de mobilisation :

Comme nous avons cité précédemment la production de l'eau potable est garantie par les eaux souterraines. Les coordonnées des forages en exploitation et leur débit selon le tableau suivant :

Tableau 3.5 : Les forages en exploitation

| | Designation de forage | X (°décimaux) | Y (°décimaux) |
|------------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| Champ captage de Guerrouaou | F1 bis | 2.895862 | 36.635745 |
| | F2 | 2.889483333 | 36.53545278 |
| | F4 | 2.895094444 | 36.54721389 |
| | F6 | 2.894541667 | 36.54302778 |
| | F7 | 2.895853 | 36.543068 |
| | F8 | 2.884333 | 36.542833 |
| | F9 | 2.8885 | 36.553167 |
| | F10 | 2.891833 | 36.558 |
| | F11 | 2.897136 | 36.552941 |

La production des eaux souterraines n'est pas constante, elle varie selon la saison et selon le mois comme le montre le tableau suivant.

La production mensuelle des forages est comme suit :

Tableau 3.6 : Production mensuelle des forages

| Mois d'exploitation | Production moyenne journalier (m ³ /j) | Production mensuelle (m ³) |
|---------------------|---|--|
| Novembre 2021 | 2895 | 86850 |
| Décembre 2021 | 2521 | 78151 |
| Janvier 2022 | 2849 | 88319 |
| Février 2022 | 3217 | 90076 |
| Mars 2022 | 2964 | 91884 |
| Avril 2022 | 4024 | 120720 |

Source : Statistiques de l'ALGERRIENES DES EAUX 2022

La station de pompage :

La station de pompage de Guerrouaou appelle également SP Chegnoune possède trois (03) groupes électropompe horizontale (GEPH) ($Q = 62$ l/s pour chaque GEPH). Le mode de fonctionnement est type (2+1), c'est-à-dire une des trois pompes reste en secours en cas d'une panne ou d'une intervention de maintenance.



Figure 3.6 : Station de pompage Chegnoune de Guerrouaou

Le GEPH est constitué d'une pompe de type Caprari PM 125/2F avec un débit $Q = 62$ l/s et une hauteur manométrique $HMT = 100$ m, et un moteur de

type Seipee GM 315S 2 avec une puissance $P = 110 \text{ Kw}$ à une fréquence $f = 50 \text{ Hz}$.



Figure 3.7 : Plaque signalétique de la pompe

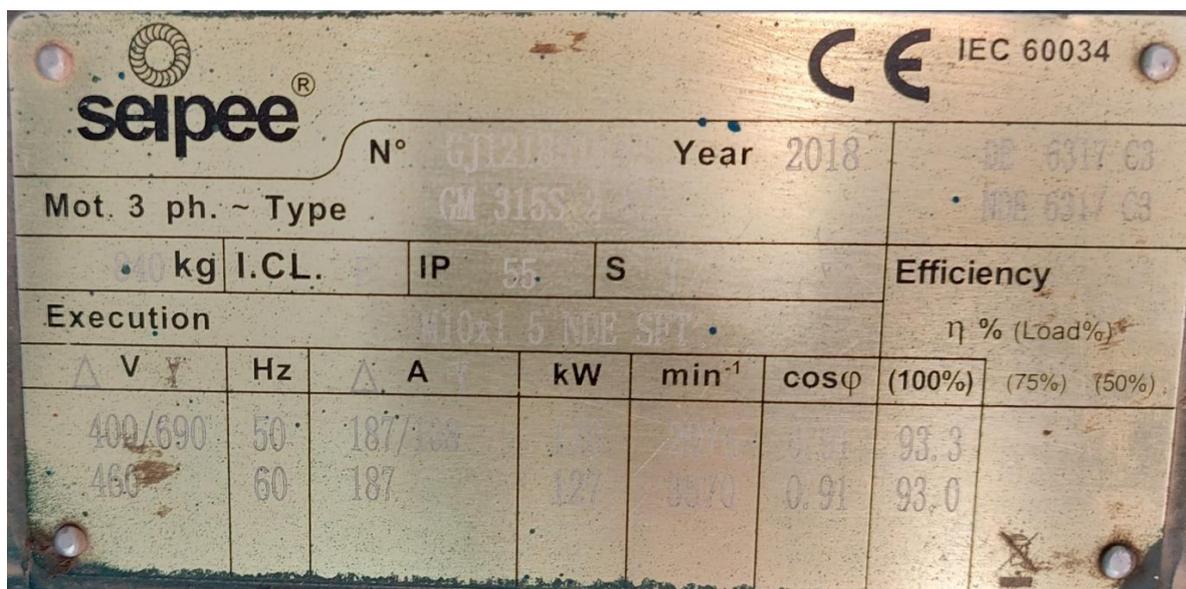


Figure 3.8 : Plaque signalétique du moteur

L'armoire électrique (**Figure 1.3**) qui est indispensable pour la marche et l'arrêt des pompes assure également la protection des GEPH où on trouve plusieurs types de protection. Elle est composé de :

- Un disjoncteur ;

- Un relais thermique contre la surcharge ;
- Un relais de phase pour la protection contre l'inversement ou manque de phase ;
- Un relais de niveau pour le contrôle de niveau ;
- Double bouton poussoir marche et arrêt ;
- Lampe de défaut, marche et arrêt.

Ouvrages annexes :

Le manomètre pour la lecture des pressions et les vannes d'aspiration et de refoulement des pompes en cas de l'intervention sur les GEPH.



Figure 3.9 : Les manomètres et les vannes

Pour la mesure du volume de sortie de la station on utilise le compteur hydraulique. Il y a aussi la ventouse d'air pour dégager l'air de la conduite de refoulement.



Figure 3.10 : Compteur hydraulique et la ventouse d'air

3.7.2.1. Les ouvrages de stockage :

Le système possède deux (02) réservoirs de stockage :

- La bache d'aspiration 400 m³.
- Le réservoir de distribution 1500 m³.



Figure 3.11 : Réservoir de distribution



Figure 3.12 : Carte d'inventaire des ouvrages de système d'AEP

3.8. Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons présenté les différentes caractéristiques (climatiques, topographique ...) de notre région d'étude. Nous avons également expliqué le descriptif de la structure d'alimentation en eau potable de chef-lieu de Guerrouaou.

Le système d'AEP est basé sur les eaux souterraines qui sont captées à partir de neuf forages, et qui sont refoulées à l'intermédiaire d'une station de pompage vers le réservoir de distribution d'une capacité de 1500 m³.

Chapitre IV :

Evaluation de la performance de la station de pompage de Guerrouaou

Chapitre IV : Evaluation de la performance de la station de pompage de Guerrouaou

4.1. Introduction :

Le but de calculer les indicateurs de performance (IP) est l'identification des installations ou des éléments du système de pompage qui causent la surconsommation énergétique. Les indicateurs de performance constituent aussi une base pour la planification de mesures de conservation d'énergie.

La détermination de l'énergie optimale permet de connaître l'énergie nécessaire pour le fonctionnement rationnel du système, autrement dit l'énergie optimale. Toute consommation supérieure à cette dernière est considérée comme une perte énergétique à travers les différentes composantes du système de pompage.

Dans ce chapitre, nous avons étudié le comportement hydraulique et énergétique de la station de pompage de Guerrouaou à l'aide des indicateurs de performance que nous avons déjà présenté dans le chapitre précédent. Le calcul de ces derniers nous a permis de constater une surconsommation énergétique, et de détecter la source de dysfonctionnement de la station.

Afin de résoudre le problème de surconsommation énergétique, nous avons élaboré un planning de pompage optimisé. L'optimisation a été faite par un programme basé sur les algorithmes génétiques.

4.2. Les valeurs de référence de fonctionnement et de conception :

4.2.1. Volume de pompage optimal :

Le volume de pompage optimal est la réserve d'eau juste nécessaire pour satisfaire la demande en eau des consommateurs. Ce volume dépend donc de trois paramètres : de volume d'eau

initial dans le réservoir, d de volume minimal et de volume d'eau demandé. Comme le montre la formule suivante :

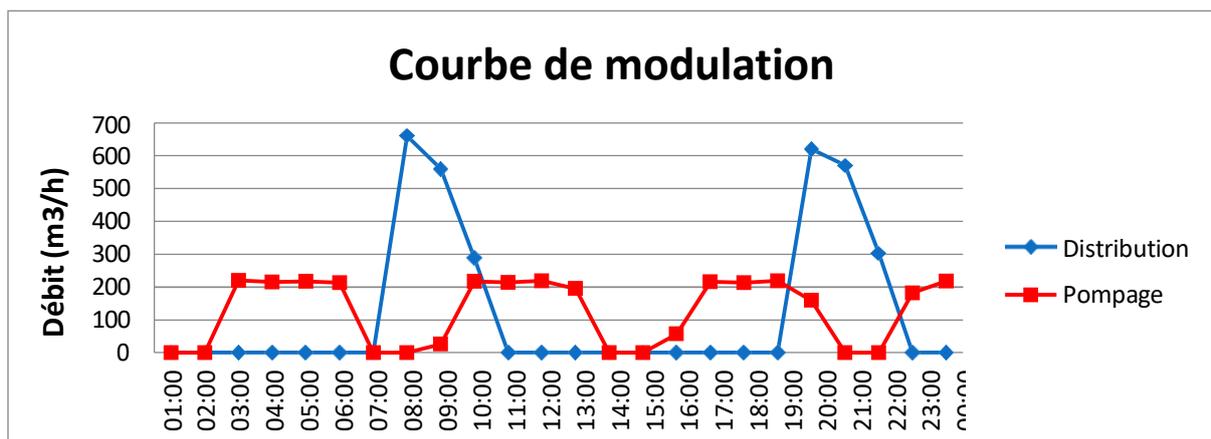
$$V_{opt} = V_d - V_i + V_{min}$$

⇒ Pour le volume d'eau initial : nous l'avons pris égal à 480 m³. $V_i = 480 \text{ m}^3$ (volume d'eau pompé de jour précédent j-1).

⇒ Pour le volume d'eau minimal : il correspond généralement à la quantité d'eau réservée à la lutte anti-incendie, sa valeur est de 120 m³.

$V_{min} = 120 \text{ m}^3$ volume dans le réservoir réservé en cas d'incendie.

⇒ Pour le volume demandé : ce volume est égal à la consommation d'eau pendant 24 heures. Le réseau de distribution étudié est caractérisé par une consommation moyenne journalière d'environ $V_a = 3000 \text{ m}^3$.



Source (ADE)

Figure 4.1 : Courbe de modulation du réseau de distribution

Le calcul donne un volume d'optimale égale à 2640 m³.

$$V_{opt} = 2640 \text{ m}^3$$

4.2.2. Rendement de pompage optimal :

Le rendement optimal des 3 pompes de la station est égal au rendement maximal. Ce rendement est déterminé directement du catalogue fourni par le constructeur des pompes (annexe 1). Selon la courbe caractéristique de la pompe :

$$\Rightarrow \eta_{\text{opt}} = 74.5 \%$$

4.2.3. Hauteur géométrique optimale $H_{g,\text{opt}}$:

Le calcul de la hauteur géométrique optimale est donné par la formule suivante :

$$H_{g,\text{opt}} = H_{\text{pd}} + \Delta H_{d,\text{opt}} + H_{\text{ce}} - C_{\text{ra}}$$

Avec : H_{pd} est la hauteur de point le plus défavorable, $\Delta H_{d,\text{opt}}$ est la perte de charge optimale entre le réservoir et le point le point le plus défavorable, H_{ce} est la hauteur du réservoir et C_{ra} la côte du radier du réservoir.

Calcul de H_{pd}

La hauteur du point le plus défavorable est la somme de la cote et la hauteur exigée à ce point :

$$H_{\text{pd}} = C_{\text{pd}} + H_{\text{pd},\text{min}}$$

Pour déterminer le point défavorable, nous avons fait une simulation du réseau de distribution par le logiciel EPANET (Figure 4.2). Les coordonnées géométriques du point le plus défavorable sont données dans le tableau suivant :

Tableau 4.1 : Les coordonnées de point le plus défavorable

| Longitude | Latitude | Altitude [m] |
|-----------|-----------|--------------|
| 2.889917 | 36.520127 | 154 |

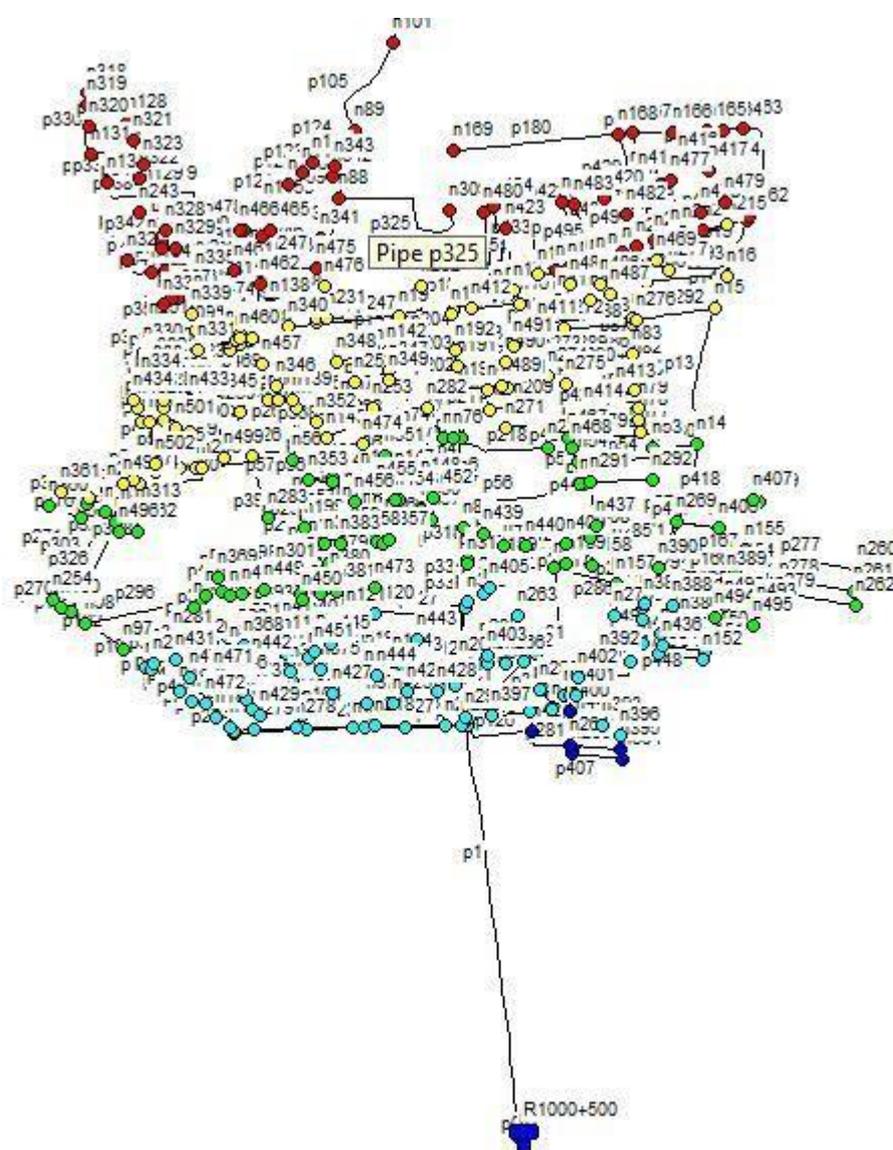


Figure 4.2 : Simulation EPANET de réseau de distribution

La pression minimale exigée au PPD est 10 m afin de garantir une bonne pression suffisante consommateurs ($H_{pd.min} = 10$ m). Le calcul donne une hauteur de 164 m pour le PPD :

$$H_{pd} = 164 \text{ m}$$

Calcul de $\Delta H_{d.opt}$

Les pertes de charge optimales entre le réservoir et le PPD sont calculées par la formule suivante :

$$\Delta H_{d.opt} = \frac{8 * \lambda_{d.opt} * L_{d.opt} * Q^2}{\pi^2 * g * D_{d.opt}^5}$$

Avec $\Delta H_{d.opt}$ est le coefficient de pertes de charge linéaire optimal, il déterminé par le calcul itératif en fonction du débit, le diamètre et le type de matériau. Le calcul a donné :

$$\lambda_{d.opt} = 0.2283$$

La longueur de distribution optimale est mesurée directement sur la carte :

$$L_{d.opt} = DS_d = 1060 \text{ m}$$

Le débit de point est déterminé à partir de la courbe de modulation :

$$Q_p = 660 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le diamètre a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$D_{d.opt} = \sqrt{\frac{A * Q_{h.max}}{\pi * v_d}}$$

Ce qui donne :

$$v_d = 0.5 \text{ m/s}$$

D'où

$$\Rightarrow D_{d,opt} = 683.27 \text{ mm}$$

Le calcul final donne les pertes de charge optimales :

$$\Rightarrow \Delta H_{d,opt} = 4.517 \text{ m}$$

Calcul de la hauteur du réservoir de distribution

La hauteur du réservoir de distribution est calculée par la relation :

$$H_{ce} = CTP - CR$$

Sachant que : $CTP = 189 \text{ m}$; et $CTR = 181 \text{ m}$;

Ce qui donne :

$$\Rightarrow H_{ce} = 8 \text{ m}$$

Calcul de la cote de radier C_{ra} :

La cote de radier du réservoir de distribution est égale à 115m :

$$C_{ra} = 115 \text{ m} ;$$

Après avoir calculé les paramètres précédents, on peut maintenant calculer la hauteur géométrique optimale, l'application numérique donne :

$$\Rightarrow H_{g,opt} = 61.517 \text{ m}$$

4.2.4. Résistance hydraulique optimale :

La résistance hydraulique optimale est donnée par la relation :

$$rh_{opt} = \frac{\lambda_{opt} \times L_{opt}}{16,2 \times 10^5 \times \pi^2 \times g \times D_{opt}^5}$$

Sachant que le calcul a donné :

$$\lambda_{opt} = 0.0173$$

$$L_{opt} = DS = 2900 \text{ m}$$

$$D_{opt} = 343.44 \text{ m}$$

Ce qui donne :

$$\Rightarrow rh_{opt} = 868.44 \text{ s/m}^2$$

4.2.5. Hauteur manométrique optimale :

La hauteur manométrique est donnée par la relation :

$$H_{opt} = H_{g,opt} + r_{h,opt} Q_{opt}^2$$

Pour déterminer le débit optimal, on utilise la formule suivante :

$$Q_{opt} = \frac{V_{opt}}{T_{opt}}$$

$$T_{opt} = 24 \text{ heures}$$

$$\Rightarrow Q_{opt} = 110 \text{ m}^3/\text{h}$$

La hauteur géométrique optimale et la résistance hydraulique optimale ont été calculées précédemment. On remplace le tout dans la formule de la hauteur manométrique optimale, ce qui donne :

$$\Rightarrow H_{\text{opt}} = 62.328 \text{ m}$$

4.2.6. Hauteur de fonctionnement optimale

A l'inverse de la hauteur manométrique optimale qui dépend des paramètres de conception, cette dernière dépend uniquement des paramètres de fonctionnement, elle est donnée par la relation suivante :

$$H_{\text{f.opt}} = H_{\text{g}} + \Delta H_{\text{f.opt}}$$

$$\text{Avec : } H_{\text{g}} = 78 \text{ m ; et } \Delta H_{\text{f.opt}} = r_h \cdot Q_{\text{opt}}^2$$

Pour déterminer la résistance hydraulique du système, on utilise la formule :

$$r_h = \frac{H - H_{\text{g}}}{Q^2}$$

Au point de fonctionnement d'une seule pompe, nous avons :

$$Q = 220 \text{ m}^3/\text{h} \text{ à } H = 108 \text{ m}$$

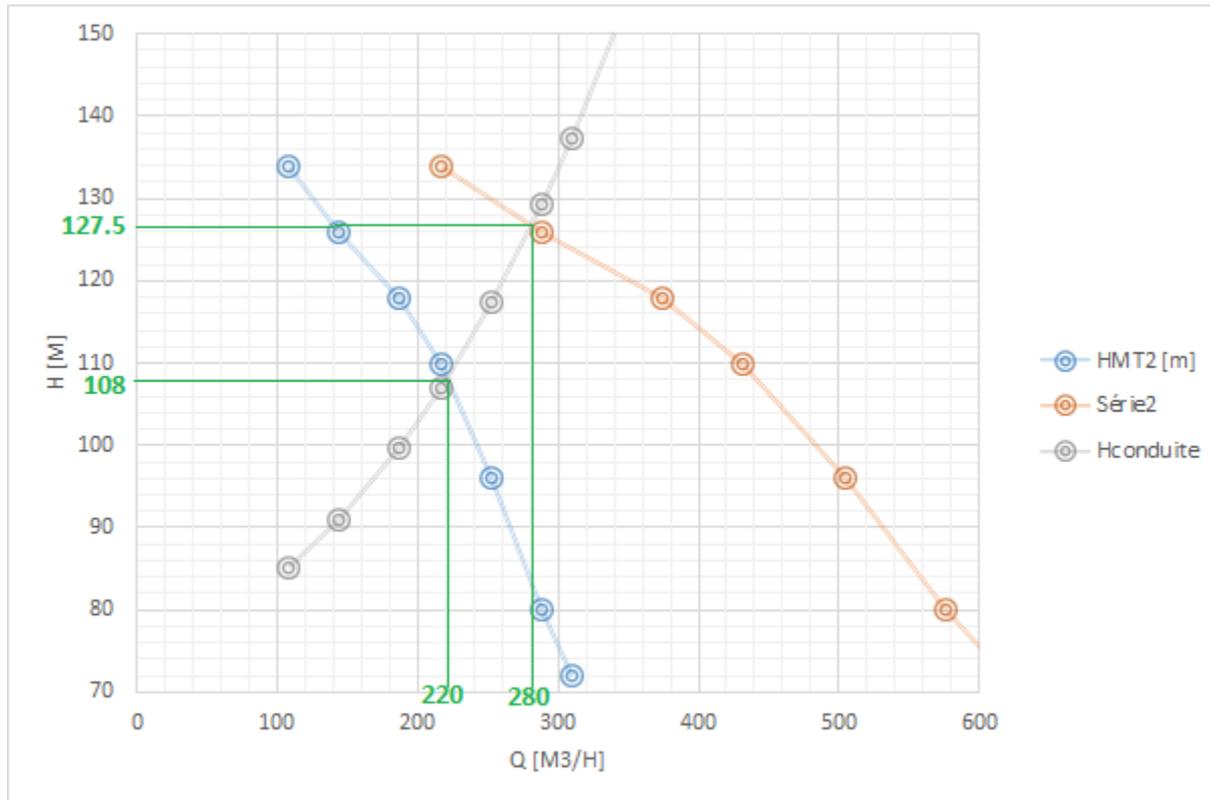


Figure 4.3 : Point de fonctionnement de la pompe

Ce qui permet de déduire r_h :

$$\Rightarrow r_h = 8033.06 \text{ s/m}^2$$

On multiplie la résistance hydraulique par le carré du débit optimal, on a les pertes de charge optimales de fonctionnement :

$$\Rightarrow \Delta H_{f,opt} = 7.5 \text{ m}$$

En remplaçant, les valeurs de tous les paramètres calculés ci-dessus, on a la hauteur de fonctionnement optimale :

$$\Rightarrow H_{f,opt} = 85.5 \text{ m}$$

4.3. Les énergies optimales :

Comme nous avons expliqué dans chapitre précédent, nous distinguons deux types d'énergie optimale :

- Energie optimale
- Energie de fonctionnement optimale

4.3.1. Energie optimale :

Cette énergie correspond à un la consommation énergétique d'un système de pompage dimensionné d'une façon optimale (H_{opt}), et qui fonctionne également d'une façon optimale c'est-à-dire à un volume et à un rendement de pompage optimal, comme le montre la relation suivante :

$$E_{opt} = \frac{\rho * g * H_{opt} * V_{opt}}{3600 * \eta_{opt}}$$

Avec :

$$H_{opt} = 62.328 \text{ m}$$

$$V_{opt} = 2640 \text{ m}^3$$

$$\eta_{opt} = 74.5 \%$$

En remplaçant les valeurs ci-dessus, on a l'énergie optimale du système de pompage :

$$\Rightarrow E_{opt} = 601.866 \text{ KWh}$$

4.3.2. Energie de fonctionnement optimale :

L'énergie de fonctionnement optimale correspond à l'énergie consommée par le système de pompage, lorsque les variables de fonctionnement ont des valeurs optimale sans tenir compte des variables de dimensionnement. Son expression est donnée par la relation suivante :

$$E_{f.opt} = \frac{\rho * g * H_{f.opt} * V_{opt}}{3600 * \eta_{opt}}$$

Sachant que :

$$H_{f.opt} = 85.5 \text{ m}$$

Ce qui donne l'énergie de fonctionnement optimale :

$$\Rightarrow \mathbf{E_{f.opt} = 825.620 \text{ KWh}}$$

4.4. Indicateurs de conception énergétique du système de pompage :

Le calcul des indicateurs de conception (Tableau 4.2) montre que le système de pompage a été bien dimensionné avec un indicateur global de conception égal à 0,72. Les pertes énergétiques engendrées par les paramètres de conception sont estimées à 27.10%.

Les indicateurs de performance de conception montrent que les paramètres relatifs aux pertes de charge ont été très mal dimensionnés avec un indicateur de résistance hydraulique égal à 0,10. Ces pertes de charge sont engendrées principalement par les singularités du système comme le montre le très faible indicateur des pertes singulières ($IPS=0,06$). Cependant, l'impact de ces paramètres a été anéanti par leur faible coefficient de pondération $TPC=0,08$.

L'indicateur de la hauteur géométrique est égal à 0,78 ce qui signifie que le réservoir en terme de hauteur géométrique a été bien dimensionné. En plus, le coefficient de pondération de la hauteur géométrique ($THG=0.91$) montre que la hauteur géométrique est le paramètre de conception le plus prépondérant dans la consommation énergétique.

| Indicateur de performance | Formule | Valeur |
|--|---|---------------|
| Hauteur géométrique | $IHG = \frac{H_{g.opt}}{H_g}$ | 0.78 |
| Longueur de conduite | $ILA = \frac{L_{opt}}{L_a}$ | 193.33 |
| | $ILR = \frac{L_{opt}}{L_r}$ | 0.78 |
| Diamètre de conduite | $IDA = \left(\frac{D_a}{D_{opt}}\right)^5$ | 2.14 |
| | $IDR = \left(\frac{D_r}{D_{opt}}\right)^5$ | 2.14 |
| Frottement | $IFA = \frac{\lambda_{opt}}{\lambda_a}$ | 0.98 |
| | $IFR = \frac{\lambda_{opt}}{\lambda_r}$ | 0.98 |
| Pertes singulières | $IPS = \frac{1}{\alpha_s}$ | 0.06 |
| Résistance hydraulique | $IRH = \frac{r_{h.opt}}{r_h}$ | 0.10 |
| Taux de hauteur géométrique | $THG = \frac{H_g}{H_{f.opt}}$ | 0.91 |
| Taux des pertes de charge | $TPC = \frac{r_h \times Q_{opt}^2}{H_{f.opt}}$ | 0.08 |
| Indicateur global de conception | $IGC = \frac{E_{opt}}{E_{f.opt}}$ | 0.72 |
| Perte énergétique de conception (KWh) | $\Delta E_c = E_{f.opt} - E_{opt}$ | 223.75 |
| Taux des pertes énergétiques de conception (%) | $PEC = \frac{\Delta E_c}{E_{f.opt}} \times 100$ | 27.10 |

Tableau 4.2 : Indicateurs de conception énergétique

4.5. Indicateurs de fonctionnement énergétique du système de pompage :

En se référant au panel des indicateurs de performance présenté dans le chapitre précédent, on peut dire que la performance énergétique du fonctionnement de pompage est relativement faible ($IGF = 0,67$) engendrant en une journée des pertes énergétique estimée à 399,3 kWh ce qui représente 32,60% des pertes énergétiques. Cette faible performance énergétique est engendrée par les pertes relatifs aux pressions de pompage ($IH = 0,79$).

| Indicateur de performance | Formule | Valeur |
|--|---|--------|
| Indicateur de volume d'eau pompé | $IV = \frac{V_{opt}}{V}$ | 0.85 |
| Indicateur de pression de pompage | $IH = \frac{H_{f.opt}}{H}$ | 0.79 |
| Indicateur de rendement de pompage | $IR = \frac{\eta}{\eta_{opt}}$ | 0.99 |
| Indicateur globale de fonctionnement | $IGF = \frac{E_{f.opt}}{E}$ | 0.67 |
| Perte énergétique de fonctionnement (KWh) | $\Delta E_f = E - E_{f.opt}$ | 399.30 |
| Taux des pertes énergétiques de fonctionnement (%) | $PEF = \frac{\Delta E_f}{E} \times 100$ | 32.60 |

Tableau 4.3 : Indicateurs de fonctionnement énergétique

4.6. Evaluation énergétique globale :

L'évaluation globale du système de pompage (Tableau 4.4) montre que la performance énergétique est très faible ($IGE = 0,49$), avec des pertes énergétiques estimées à 623,05 kWh ce qui représente 50,86% de la consommation énergétique. Ceci montre l'ampleur des pertes énergétiques du système de pompage.

| Indicateur de performance | Formule | Valeur |
|---|--------------------------------------|---------------|
| Indicateur global d'énergie | $IGE = \frac{E_{opt}}{E}$ | 0.49 |
| Pertes énergétiques globales (KWh) | $\Delta E = E - E_{opt}$ | 623.05 |
| Taux des pertes énergétiques globales (%) | $PE = \frac{\Delta E}{E} \times 100$ | 50.86 |

Tableau 4.4 : Indicateurs de performance énergétique globale

4.7. Analyse des indicateurs de performance énergétique :

Le diagnostic énergétique à l'aide de la représentation arborescente des indicateurs de performance (Figure 4.4) a permis de tirer le constat suivant :

- Surconsommation énergétique de la station de pompage est très importante.
- Le fonctionnement est la principale source de surconsommation énergétique ;
- Le dysfonctionnement énergétique est engendré par un excès des pressions de pompage.

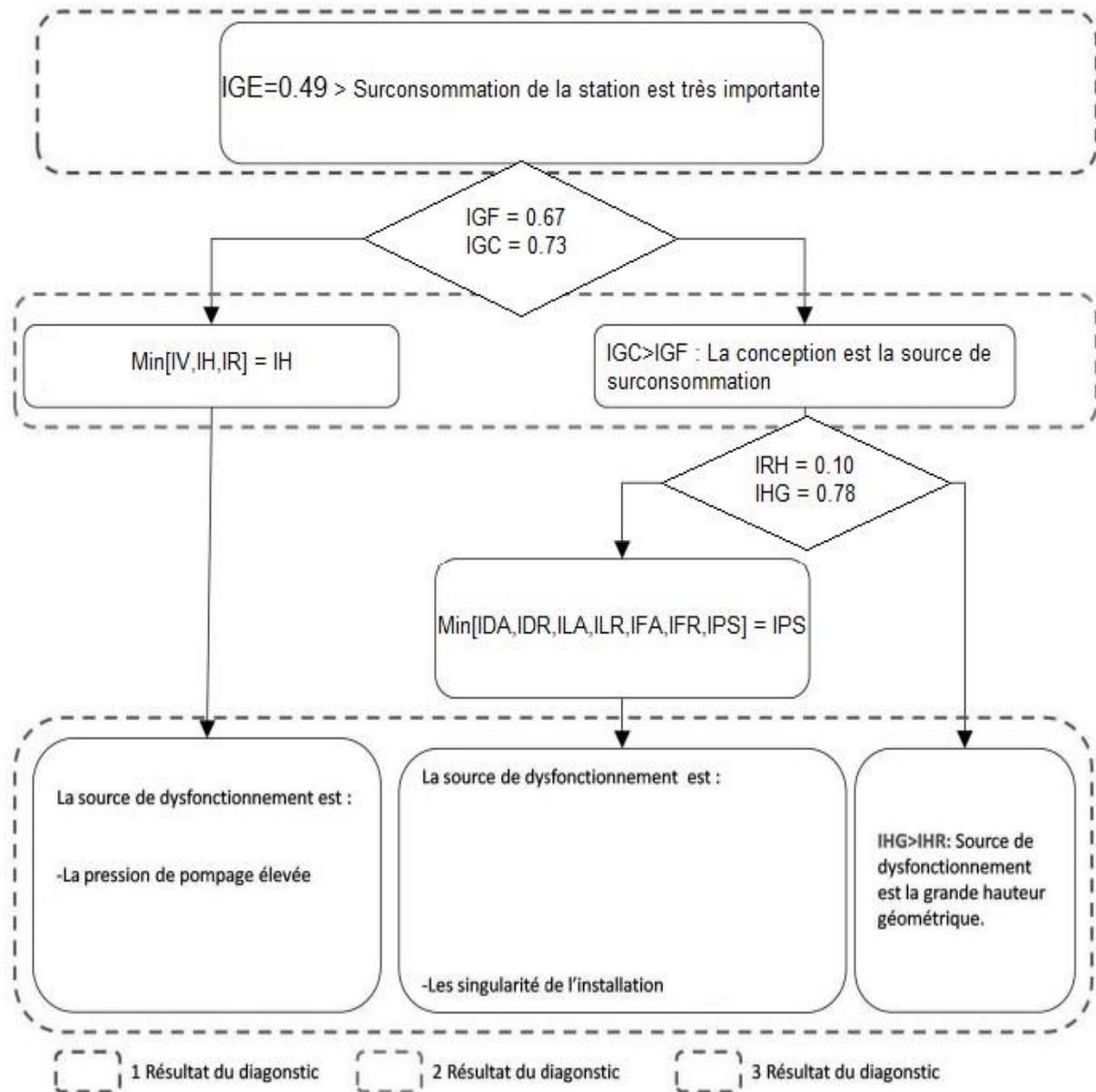
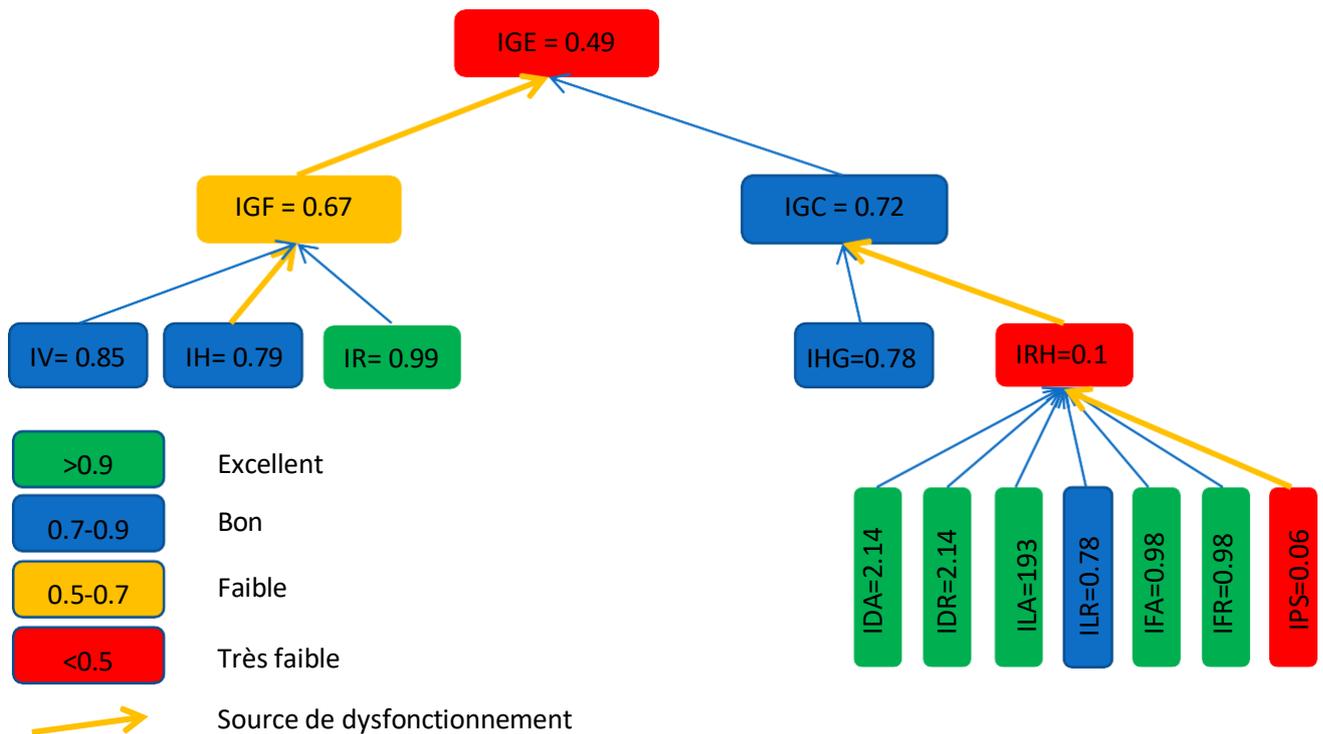


Figure 4.4 : La source du dysfonctionnement énergétique



IGC: indicateur global de conception, DEC: Pertes énergétiques de conception, PEC: Taux des pertes énégetique de conception.
 IRH:Indicateur de résistance hydraulique, TPC: Taux des pertes de charge, IHG: indicateur de hauteur géométrique, THG: taux de hauteur géométrique.
 IDA(R): indicateur de diamètre d'aspiration (refoulement), ILA(R): indicateur de longueur d'aspiration (refoulement), IFA (R): indicateur de frottements d'aspiration (refoulemnt), IPS: indicateur des pertes singulières.

IGF: indicateur global de fonctionnement, DEF: Pertes énergétiques de fonctionnement, PEF: Taux des pertes énégetique de fonctionnement.
 IV: Indicateur de volume de pompage, IH: indicateur de pression de pompage, IR: indicateur de rendement de pompage.

Figure 4.5 : Représentation arborescente des IPE du planning ADE

4.8. Optimisation du fonctionnement du système de pompage

Afin de proposer une solution à la surconsommation énergétique engendrée par le fonctionnement du système de pompage. Nous avons utilisé un programme d'optimisation basé sur les algorithmes génétiques présenté par (Bouach, 2019). Le programme d'optimisation fournit un planning de pompage optimal (Figure 4.5). Tout en respectant les conditions de bon fonctionnement hydraulique du système, c'est-à-dire en respectant les niveaux minimal et maximal du réservoir de distribution (Figure 4.6).

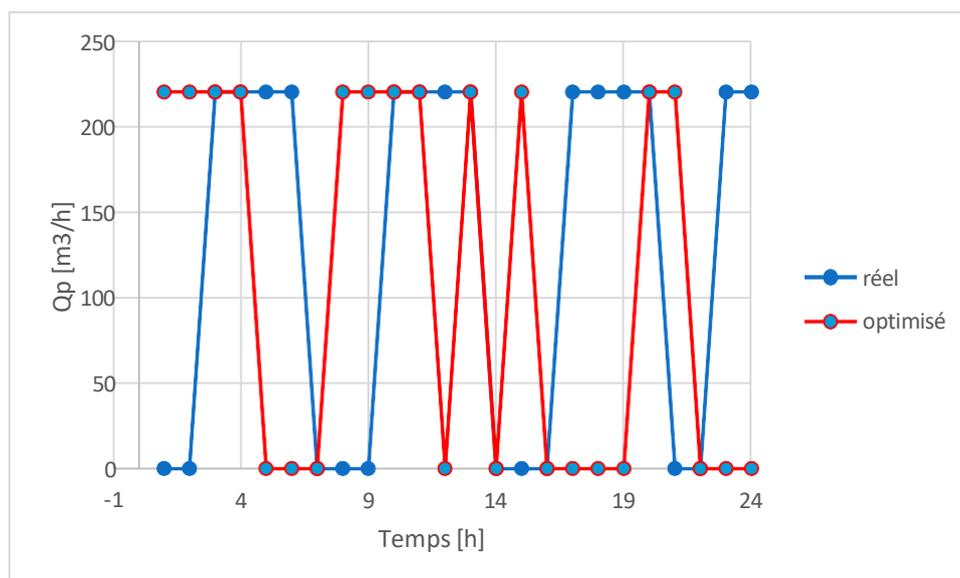


Figure 4.6 : Plannings de pompages

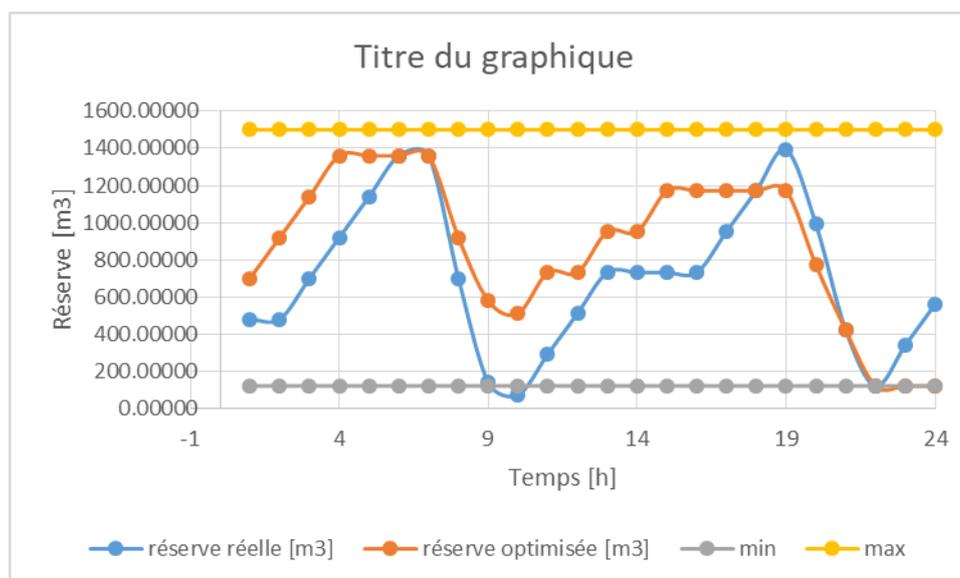


Figure 4.7 : Evolution des réserves d'eau

La consommation énergétique en une journée du système de pompage est d'environ 1 224,92 kWh et après optimisation du fonctionnement cette énergie devient 1049,94 kWh ce qui permet de réaliser un gain énergétique de 174,99 kWh en journée ce qui correspond à environ 63 871 kWh en une année (environ 14,28 % du gain énergétique).

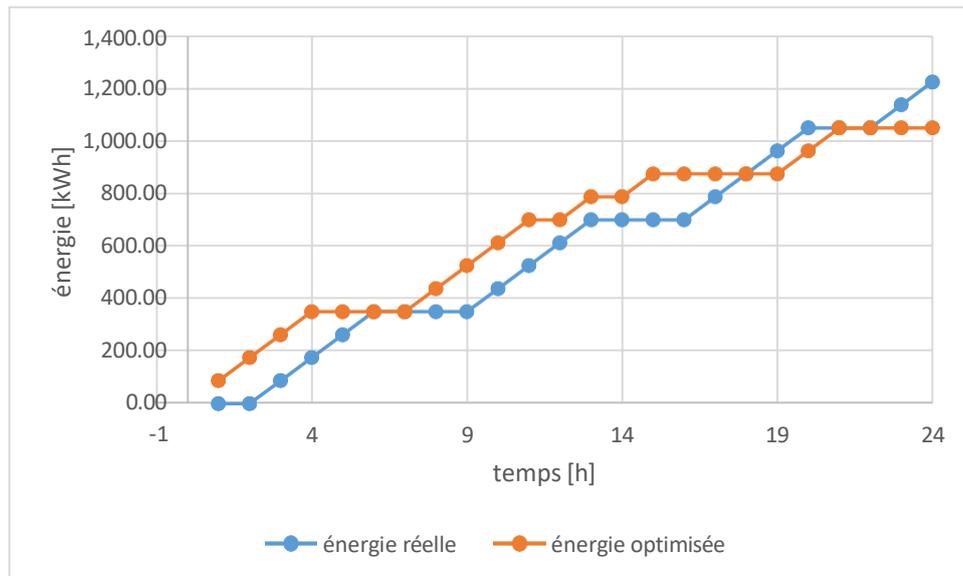


Figure 4.8 : Evolution de la consommation énergétique

Les indicateurs de performances du planning optimisé (Figure 4.8) montrent que le programme d’optimisation a réussi d’améliorer la performance énergétique du système avec un IGE=0,57 par rapport à un IGE=0.49 sans optimisation.

Le programme d’optimisation a réussi également de régler le fonctionnement du système en améliorant l’indicateur de fonctionnement IGF de 0,67 à 0,72. Ce qui a fait que le fonctionnement n’est plus la source de surconsommation énergétique.

Le constant du diagnostic du système de pompage optimisé est comme suit :

- Surconsommation énergétique de la station de pompage est importante.
- La conception est la principale source de surconsommation énergétique ;
- Les singularités du système représentent la source de dysfonctionnement énergétique.

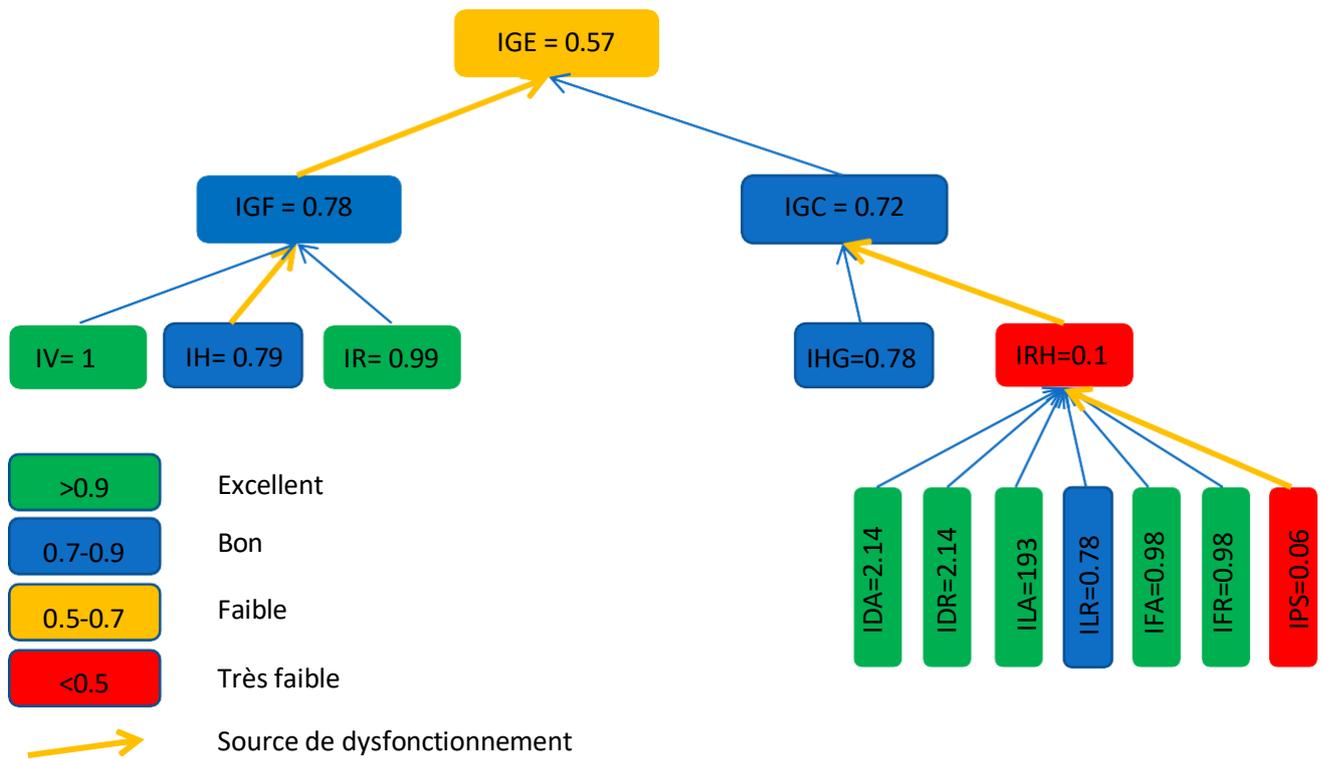


Figure 4.9 : Représentation arborescente des IPE du planning optimisé

4.9. Conclusion :

Les indicateurs de performance constituent un outil très efficace pour la gestion des stations de pompage. En effet, ils permettent d'évaluer l'état énergétique et hydraulique de la station, comme ils permettent de détecter la source du problème dans le cas d'un dysfonctionnement du système.

L'évaluation par les IPE de la station de pompage de Guerrouaou a permis de constater une consommation énergétique très élevée comme le montre $IGE=0,49 < 0,5$. Cette surconsommation énergétique a été engendrée en particulier par le fonctionnement du système comme l'a bien montré la représentation arborescente des IPE, où l'excès des pressions de pompage a été la principale source de dysfonctionnement énergétique.

Afin de régler ce problème, un planning de pompage optimisé via les algorithmes génétiques a été proposé. Ce planning a permis de réduire la consommation énergétique d'environ 14%. Et les indicateurs de performance ont bien montré l'amélioration apportée par le programme d'optimisation où l'indicateur global d'énergie est devenu $IGE=0,57$, comme il a réussi de régler le fonctionnement de pompage où il ne représentait plus la source de surconsommation.

A travers cette étude, nous pouvons citer deux recommandations importantes pour améliorer la performance de la station de Guerrouaou, Ces recommandations sont :

- Modification du planning de pompage afin de réduire les pertes engendrées par les fortes pressions.
- Rénovation des équipements annexes du système (vannes, clapets, coudes,) pour réduire les pertes de charge singulière du système.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le présent rapport de mémoire qui à portée sur l'évaluation de la station de pompage de Guerrouaou dans la wilaya de Blida, a conclu les points suivants :

- La station de pompage est un ouvrage hydraulique indispensable dans le système d'eau potable qui aide la transition de l'eau d'une côte à une côte plus élevée.
- La conception de la station de pompage et le choix des pompes doivent être étudiés d'une façon précise à fin de minimiser l'énergie consommée.
- Les indicateurs de performance nous aident à déterminer la cause de dysfonctionnement de la station, et à prendre les bonnes décisions pour mieux contrôler la surconsommation.
- Le système d'AEP de la zone d'étude est basé sur la production des forages.
- $IGE = 0.49$ signifie une surconsommation très élevée.
- L'utilisation de l'outil d'optimisation a permis d'obtenir un $IGE = 0.57$ réalisant ainsi un gain énergétique considérable.

Dans notre cas la station a connaît une très grande sur consommation énergétique suite à un dysfonctionnement au niveau de la conception (les fortes singularités) et également au niveau du fonctionnement (excès de pression).

En fin, pour achever notre travail on a proposé des recommandations pour minimiser le cout d'énergie consommée. Egalement, on a proposé un régime de fonctionnement plus efficace pour l'approvisionnement de la commune de Guerrouaou.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (3) s.l. : Lencastre, A. (1982) : Manuel d'hydraulique générale ; Eyrolles ; 1982
- (7) DIB, Manuel d'évaluation de l'efficacité énergétique des stations de pompage d'eau.
- (8) Thèse de doctorat, Etude de la vulnérabilité des réseaux d'alimentation en eau potable - surconsommation énergétique des stations de pompage, Ahcene BOUACH.
- (9) CHESNEAU, Olivier. Un outil d'aide à la maîtrise des pertes dans les réseaux d'eau potable : la modélisation dynamique de différentes composantes du débit de fuite. 219 p. Thèse de doctorat : Strasbourg, Université de Louis Pasteur Strasbourg I : 2006.
- (10) REY, Emmanuel. Régénération des friches urbaines et développement durable : vers une évaluation intégrée à la dynamique du projet. Louvain : Presses universitaires de Louvain, 2012. 269 p. ISBN 978-2-87588-078-8.

WEBGRAPHIE

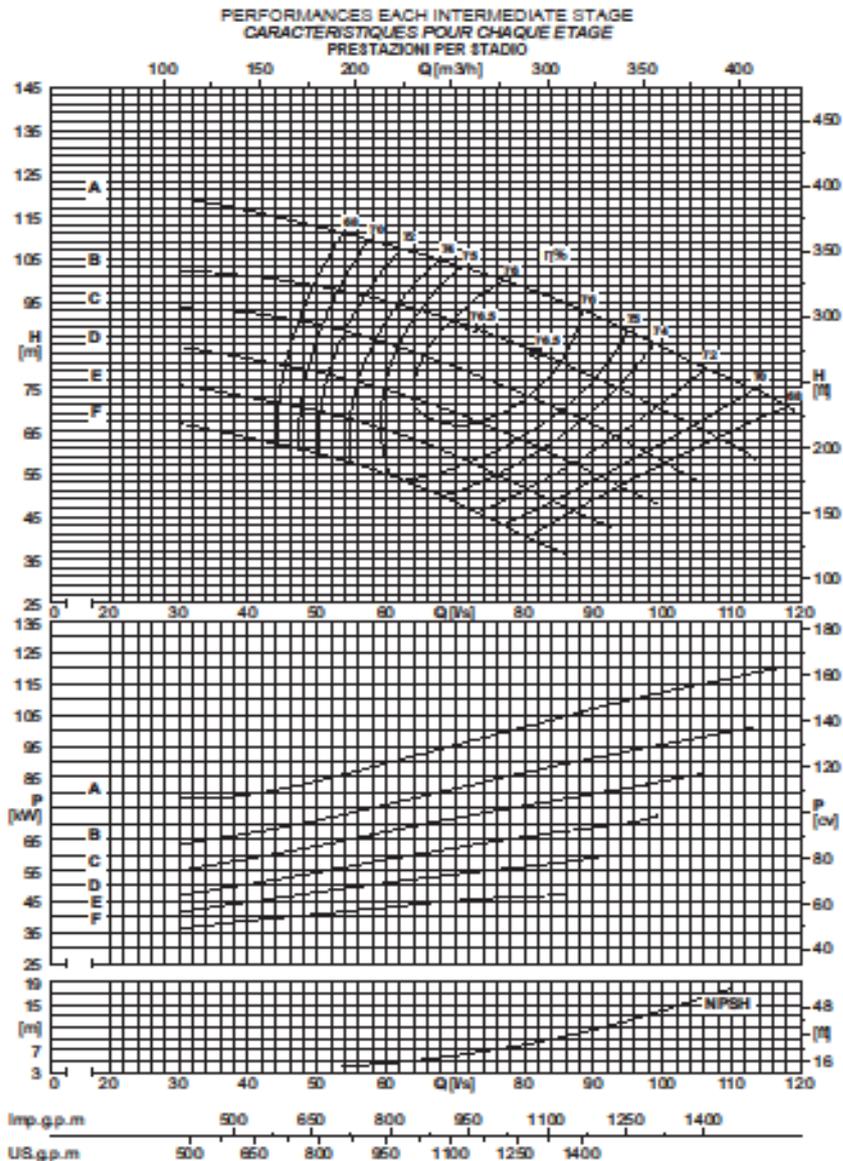
- (1)[En ligne] <https://www.oryxeleven.com/canalisation-pour-station-de-pompage/>
- (2)[En ligne] <https://france-pivots.com/pivots-irrigation/comment-fonctionne-une-station-de-pompage/>
- (4)[En ligne] <https://www.faure-technologies.com/les-pompes-hydrauliques>
- (5)[En ligne] <https://guide.directindustry.com/fr/bien-choisir-une-pompe/>
- (6)[En ligne] <https://www.no-mas.fr/linstallation-des-differents-types-de-pompes-a-eau/>

Annexe

| | | |
|--|------|------|
| Utilization field Champ d'utilisation Campo di utilizzo ≥ 65% η | | |
| Stage number: compatible with the maximum pressure. Nombre d'étages: compatible avec la pression maximum. Numero stadi: compatibilmente con la pressione massima di esercizio. | | |
| Type - Type - Tipo | MIN. | MAX. |
| PM | 2 | 5 |
| PMS | 2 | 5 |
| PMH | 2 | 8 |
| NB: For two-stage pumps only, reduce efficiency by one point. Diminuer le rendement d'un point seulement pour les pompes à deux étages. Solamente per le pompe a due stadi, ridurre di un punto il rendimento. | | |

| | | |
|---|--------------|---|
| Wet moment of inertia J Moment d'inertie J mouillé Momento d'inertia J bagnato J=1/2ρD ⁵ - [kg m ²] | | |
| Impeller type Roue type Giante tipo | PM(S/H)125/1 | For each additional stage Pour chaque étage en plus Per ogni stadio in più |
| Cast iron Fonte Ghisa | 0,0925 | 0,0805 |
| Bronze Bronze Bronzo | 0,1005 | 0,0885 |

| | |
|--|---------|
| Maximum permissible power Puissances maximums admissibles Massime potenze ammissibili | |
| Type - Type - Tipo | Nh MAX. |
| PM | 0,18 |
| PMS | 0,18 |
| PMH | 0,25 |
| For seal limits and calculation formulas of the maximum permissible powers, see technical data section. Consulter la section Données techniques pour connaître les limites des joints et les formules pour le calcul des puissances maximales admissibles. Per i limiti tenute e le formule di calcolo delle massime potenze ammissibili, vedere sezione dati tecnici. | |



| Capacity - Débit - Portata | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Dna x DNm | Impeller type Roue type Giante tipo | [l/s] | 0 | 40 | 44 | 48 | 52 | 56 | 60 | 64 | 68 | 72 | 76 | 80 | 84 | 88 | 92 | 96 | 100 | 104 | 108 | 112 |
| | | [m³/h] | 0 | 144 | 158,4 | 172,8 | 187,2 | 201,6 | 216 | 230,4 | 244,8 | 259,2 | 273,6 | 288 | 302,4 | 316,8 | 331,2 | 345,6 | 360 | 374,4 | 388,8 | 403,2 |
| | | [m³/min] | 0 | 2400 | 2640 | 2880 | 3120 | 3360 | 3600 | 3840 | 4080 | 4320 | 4560 | 4800 | 5040 | 5280 | 5520 | 5760 | 6000 | 6240 | 6480 | 6720 |
| PM(S/H)125/1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150x125 | F | [m] | 69 | 61 | 62 | 60 | 57 | 57 | 54 | 52 | 49,5 | 47 | 43,5 | 40,5 | 37,5 | 35,5 | | | | | | |
| 150x125 | F | [kW] | 39,5 | 39 | 40,5 | 42 | 42 | 43,5 | 43,5 | 44,5 | 46 | 46,5 | 46,5 | 47,5 | 49 | | | | | | | |
| 150x125 | E | [m] | 79 | 72 | 70 | 68 | 69 | 67 | 65 | 62 | 60 | 57 | 54 | 51 | 49 | 45,5 | 42,5 | 41 | | | | |
| 150x125 | E | [kW] | 45 | 46,5 | 46,5 | 46 | 46,5 | 51 | 52,5 | 52,5 | 54 | 55 | 56,5 | 56 | 56 | 56,5 | 62,5 | | | | | |
| 150x125 | D | [m] | 88 | 83 | 81 | 79 | 77 | 75 | 73 | 71 | 69 | 68 | 65 | 62 | 59 | 56 | 53 | 50 | 47,5 | | | |
| 150x125 | D | [kW] | 49,5 | 51,5 | 53,5 | 55 | 57,5 | 59 | 60,5 | 62 | 62 | 63,5 | 65 | 66,5 | 69 | 69,5 | 71 | 73 | | | | |
| 150x125 | C | [m] | 100 | 87 | 87 | 86 | 85 | 83 | 81 | 79 | 77 | 75 | 72 | 70 | 67 | 64 | 61 | 58 | 54 | 51 | | |
| 150x125 | C | [kW] | | 62,5 | 64 | 65,5 | 67 | 68,5 | 70,5 | 72 | 73,5 | 75 | 76 | 76 | 79 | 81 | 82 | 84 | 86 | 87 | | |
| 150x125 | B | [m] | 112 | 96 | 96 | 96 | 97 | 96 | 94 | 92 | 90 | 85 | 83 | 81 | 78 | 75 | 72 | 69 | 66 | 62 | 59 | |
| 150x125 | B | [kW] | | 69,5 | 70,5 | 72 | 74 | 75 | 77 | 79 | 81 | 85 | 87 | 89 | 90 | 92 | 95 | 96 | 96 | 96 | 96 | |
| 150x125 | A | [m] | 130 | | 114 | 114 | 113 | 105 | 105 | 104 | 102 | 101 | 99 | 96 | 92 | 90 | 87 | 84 | 81 | 78 | 75 | |
| 150x125 | A | [kW] | | | 81 | 83 | 85 | 91 | 92 | 94 | 96 | 98 | 100 | 102 | 106 | 108 | 110 | 112 | 113 | 114 | 116 | |
| NPSH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | [m] | | | | 4 | 4,3 | 4,6 | 5 | 5,6 | 6,4 | 7,2 | 8,2 | 9,3 | 9,7 | 11 | 12,5 | 14,1 | 15,9 | 17,8 | 18,2 | |