



MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: ALIMENTATION EN EAU POTABLE

THEME :

**EXPLOITATION OPTIMALE DES SYSTEME DE POMPAGE
DE L'EAU POTABLE.**

Présenté par :

TALATA Meriem

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
AMMARI Abdelhadi	M.C.A	Président
HACHEMI Abdelkader	M.C.A	Examineur
KADI Latifa	M.A.A	Examineur
MOKRANE WAHIBA	M.C.B	Promotrice

Session 2022/2023

Dédicaces

A tous ceux que j'aime...

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite exprimer ma gratitude à Dieu le tout-puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience nécessaires pour accomplir ce travail modeste. Mes remerciements les plus sincères vont à mes parents, qui m'ont soutenu, encouragé et aidé tout au long de mon parcours. Leur soutien inébranlable m'a offert toutes les opportunités pour réussir. Je souhaite qu'ils voient dans l'achèvement de ce travail la concrétisation de leurs efforts et la manifestation de ma plus profonde gratitude.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à ma promotrice, Madame MOKRANE WAHIBA, pour sa patience et son soutien précieux qui ont été essentiels pour mener à bien mon projet. Je suis également reconnaissante envers les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont manifesté envers ma recherche en acceptant d'évaluer mon travail et en contribuant à son enrichissement par leurs suggestions.

Je remercie ma famille, en particulier mes frères, pour leur soutien constant et leurs encouragements à chaque étape de ma vie. Enfin, je souhaite exprimer mes sincères remerciements à tous mes proches, amis et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce travail.

إن ارتفاع عدد محطات الضخ يسلط الضوء على الحاجة الملحة لتحسين استخدام الطاقة, مما تصبح الأتمتة ضرورية لضمان التشغيل الأمثل لأنظمة الضخ مع تقليل استهلاك الطاقة في الوقت نفسه, و يثبت تكامل الأنظمة التلقائية لضبط تركيز المواد الكيميائية مثل الكلور, ومراقبة مستويات المياه في الخزانات, مع استخدام البرمجيات مثل إبانيت لإدارة تغيرات الضغط وتقليل فقد المياه, مما يعطي أهمية حاسمة في ضمان توفر مياه نظيفة وجودة للمستخدمين.

الكلمات المفتاحية: محطات الضخ, تحسين الطاقة, أتمتة, تغيرات الضغط.

Résumé :

L'augmentation du nombre de stations de pompage met en lumière le besoin urgent d'optimiser l'utilisation de l'énergie, rendant l'automatisation indispensable pour garantir le fonctionnement optimal des systèmes de pompage tout en réduisant la consommation d'énergie. En même temps, l'intégration de systèmes automatiques pour réguler la concentration de produits chimiques tels que le chlore et surveiller les niveaux d'eau dans les réservoirs, en utilisant des logiciels comme Epanet pour gérer les variations de pression et réduire les pertes d'eau, revêt une importance cruciale pour assurer la disponibilité d'eau propre et de qualité pour les utilisateurs.

Mots-clés : Stations de pompage, Optimisation énergétique, Automatisation, Epanet, variations de pressions.

Abstract:

The increase in the number of pumping stations highlights the urgent need to optimize energy usage, making automation essential to ensure the optimal operation of pumping systems while reducing energy consumption. At the same time, the integration of automatic systems to regulate the concentration of chemicals such as chlorine and monitor water levels in reservoirs, using software like Epanet to manage pressure variations and reduce water losses, is of crucial importance to ensure the availability of clean, quality water for users.

Keywords: Pumping stations, Energy optimization, Automation, Epanet, Pressure variations.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....1

Chapitre 1 :

Synthèse bibliographique sur l'exploitation des stations de pompage

1.1. Introduction:.....	2
1.2. Définition :	2
1.3. Objectifs :	2
1.4. Risques liés à un système de pompage :	2
1.5. Exploitation et efficacité énergétique :	3
1.6. Travaux de recherche :.....	3
1.7. Conclusion et problématique :.....	5

Chapitre 2:

Régulation et optimisation des Stations de Pompage.

2.1. Introduction:.....	6
2.2. Techniques de Contrôle du Débit et de la pression d'un système de pompage :.....	6
2.2.1. Régulation de vanne d'étranglement :	6
2.2.2. Régulation par la variation de la course du piston :	7
2.2.3. Régulation par dispositif du contrôle de pression :	9
2.2.4. Régulation par contrôle automatique :	10
2.3. Optimisation de l'énergie dans un système de pompage :	11
2.3.1. Economie d'énergie pour une pompe plus efficace :	11
2.3.2. Amélioration la performance énergétique des systèmes de pompage :	12
2.3.2.1. Exemple d'efficacité énergétique d'une installation photovoltaïque :	13
2.4. Régulation automatisé du chlore : Amélioré l'efficacité des stations de pompages :	14
2.4.1. Contrôle de la quantité de chlore dans la station de pompage :	14
2.4.1.1. Ampérométrie :	14
2.4.1.2. Colorimétrie :	15
2.4.2. Gestion avance de la chloration dans les réseaux d'eau :	16
2.4.2.1. SOFREL ChlorIN : La Nouvelle Solution de LACROIX pour la Mesure en Ligne du Chlore Actif en Temps Réel :	17
2.5. Automatisation de la Détection du Niveau d'Eau dans les Réservoirs :	17
2.6. Les avantages de l'automatisation et de la régulation des pompes :	18
Conclusion :	18

Chapitre 3:

Pompes : Gestion avec EPANET

3.1. Introduction :	19
3.2. Définition:	19
3.3. Exploration d'EPANET dans la Gestion Hydraulique :	19
3.4. Utilisation d'EPANET pour la Gestion Intelligente des Stations de Pompage : Application et Cas d'Étude :	21
3.4.1. Étude de notre Cas : Simulation du Réseau de Pompage avec EPANET :	21
3.4.1.1. Présentation de Cas d'Étude :	21
3.4.1.2. Contrôle de Pression dans les Cas de Simulation de Réseaux avec Epanet :	21
3.4.1.3. Analyse des Résultats de Simulation Concernant le Contrôle des Pressions avec EPANET :	26
Conclusion :	27
CONCLUSION GENERALE	28

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 3

Pompes : Gestion avec EPANET

Tableau 1 : Résultats de Pression par Nœud selon Epanet pour le cas de débit forcé :.....	23
Tableau 2 : Résultats de Pression par Nœud selon Epanet pour le cas de débit d'équipement	24
Tableau 3 : Résultats de Pression par Nœud selon Epanet pour le cas de débit nul :.....	26

LISTE DES FIGURES

Chapitre 2:

Régulation et optimisation des Stations de Pompage.

Figure1: boucle de contrôle de rétroaction.....	6
Figure 2: Schéma de la pompe.	7
Figure 3 : Coefficient d'irrégularité en fonction du nombre de piston.....	8
Figure 4 : types de régulateurs de pression.....	9
Figure 5 : Un transducteur de pression différentielle (A) possède deux points de connexion (C) à la conduite de chaque côté d'une restriction (D). Un collecteur à 3 vannes (B) protège le capteur si la pression dans le tuyau est trop élevée.....	10
Figure 6 : Structure du modèle des réseaux de neurones artificiels.....	12
Figure 7 : Demande en électricité et production d'énergie à partir de l'installation photovoltaïque de 12,3 kW.....	13

Chapitre 3:

Pompes : Gestion avec EPANET

Figure 1: Présentation de l'écran.	20
Figure 2: Présentation de la barre d'outils.	20
Figure 3: Visualisation du Réseau dans Epanet.....	21
Figure 4: Courbe de Modulation.	22
Figure 5: Les valeurs de pression à l'émetteur au nœud 1 pour une période de 24 heures.....	24
Figure 6 : Les valeurs de débit pour la pompe pendant une période de 24 heures.....	25

ABREVIATIONS

PV : panneaux photovoltaïques.

ppm : parties par million.

Epanet: EPA's Water Distribution System Analysis Model.

PEHD : Polyéthylène Haute Densité.

HMT : Hauteur manométrique total.

P : Pression.

R : Réservoir.

SP : Station de pompage.

DN : Diamètre Nominal.

PN : Pression Nominale.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les stations de pompage sont des infrastructures clés qui facilitent le déplacement et la distribution efficace de l'eau dans les réseaux urbains et ruraux, assurant un approvisionnement constant et une pression adéquate pour répondre aux besoins des utilisateurs. Dans cette optique, l'optimisation de l'utilisation des stations de pompage à travers le contrôle automatique représente un enjeu majeur pour garantir une distribution d'eau fiable, efficiente et économique.

Ce mémoire se concentre spécifiquement sur l'utilisation de l'automatisation et du contrôle dans les stations de pompage, en mettant l'accent sur l'utilisation de logiciels tels qu'Epanet pour gérer les variations de pression. Il est structuré en une introduction, trois chapitres et une conclusion générale, visant à explorer en profondeur les aspects techniques et opérationnels de ce domaine crucial.

Le premier chapitre comportera une synthèse bibliographique sur l'exploitation des stations de pompage

Le deuxième chapitre se penchera sur les méthodes de régulation utilisées dans les stations de pompage. Nous examinerons les divers équipements et systèmes de régulation automatique, en analysant leurs avantages et leurs applications spécifiques. Cette section mettra en lumière l'importance de la régulation dans l'optimisation des performances des stations de pompage et dans la garantie d'une distribution d'eau efficace.

Le troisième chapitre portera sur l'utilisation spécifique du logiciel Epanet pour le contrôle des variations de pression dans les réseaux d'eau. Nous explorerons les fonctionnalités d'Epanet, ses capacités de modélisation hydraulique et son utilisation pratique dans la gestion des réseaux d'eau. L'accent sera mis sur l'intégration de ce logiciel dans les systèmes de contrôle automatique des stations de pompage pour optimiser les performances hydrauliques. Dans la conclusion générale, nous aborderons les défis, les opportunités et les perspectives futures pour l'utilisation optimale des stations de pompage à travers le contrôle automatique, en mettant en évidence l'importance croissante de l'automatisation dans la gestion des réseaux d'eau urbains.

Chapitre 1

Chapitre 1 :

Synthèse bibliographique sur l'exploitation des stations de pompage

1.1. Introduction

Dans le but d'une exploitation optimale d'une station de pompage qui assure l'approvisionnement en eau potable d'une population, il est essentiel de contrôler le fonctionnement des groupes électropompes de sorte qu'il soit dans les meilleures conditions possibles, d'une part, et de mettre à la disposition du consommateur un produit sans aucun risque. Que ce dernier concerne la santé ou les canalisations. Ainsi, nous allons essayer, à travers, ce chapitre, de faire une synthèse bibliographique sur l'exploitation des stations de pompage.

La problématique : comment optimise les stations de pompage pour minimiser les inefficacités énergétique, réduire les pertes d'eau et prolonger la durée de vie des équipement, tout en assurant un approvisionnement en eau efficace et durable ?

1.2. Définition

L'exploitation de la station de pompage regroupe toutes les opérations à entreprendre pour que l'ouvrage fonctionne, avec la meilleure rentabilité possible, pour répondre aux exigences imposées par la demande.

Ces opérations peuvent inclure :

- Les consignes de mise en service des groupes électropompes
- Le contrôle de la pression et du débit de la station de pompage
- Le contrôle de la qualité de l'eau refoulée
- Le contrôle de la consommation de l'énergie électrique
- les opérations d'entretien et de manutention

1.3. Objectifs

Les objectifs principaux d'une exploitation optimale d'une station de pompage sont :

- Consommer le moindre d'énergie.
- fournir une eau propre et qui répond aux normes de potabilité imposées par l'organisation mondiale de la santé.
- préserver les systèmes de pompage pour une aussi longue durée que possible.

1.4 Risques liés à un système de pompage

Les risques peuvent être d'origine mécaniques, électriques ou d'origine environnementale.

Risques mécaniques

- Panne du dégrilleur présenté par un dysfonctionnement du système de nettoyage
- Démarrage en cas de désamorçage
- Blocage de vannes en position de fermeture
- Blocage de la rotation de la roue

- Système de refroidissement défectueux et échauffement des paliers
- Surpression ou dépression à travers la conduite de refoulement. [1]

Risques électriques

- Sectionneurs de transformateurs défaillants
- Cas de surtension
- Echauffement du moteur électrique
- Cas de surintensité
- Baisse excessive de tension, absence ou inversion de phase impliquant la coupure de l'alimentation électrique. [1]

Risques liés à l'environnement

- Taux d'humidité élevé dans la station de pompage
- Introduction des eaux de refroidissement dans le circuit de pompage
- Bâche d'aspiration non étanche et introduction d'eaux extérieures dans le circuit d'aspiration (H. Godart, 2000) [2]

1.5. Exploitation et efficacité énergétique

Atteindre des économies financières, tout en garantissant un service continu du pompage et de l'approvisionnement en eau potable, constitue l'efficacité énergétique. L'étude de cette dernière implique la détermination des indicateurs clés de l'énergie en pompage, qui sont (L. Ouedraogo, 2019) :

- Consommation spécifique de l'énergie qui exprime le rapport entre l'énergie utilisée par le système de pompage dans un système d'eau potable et le volume total produit/disponible en tête du réseau de distribution et s'exprime en kWh/m³
- Coût unitaire d'énergie qui exprime Le coût énergétique par unité d'énergie qui représente le coût unitaire de l'énergie consommée.
- Facteur de charge de la station de pompage ; c'est le rapport entre l'énergie consommée et la quantité maximale d'énergie qui aurait pu être consommée si la demande maximale de puissance active avait été maintenue tout au long de la facturation. [3]

1.6. Travaux de recherche

Le besoin, de s'approvisionner, en eau a incité l'être humain à créer des moyens de pompage depuis l'antiquité jusqu'à nos jours et à travers les temps, leur exploitation s'est développé de l'entraînement manuel à l'électrique. Delà, face à un défi d'exploitation optimale économique et sécuritaire, les chercheurs en sciences appliqués se sont impliqués en abordant plusieurs aspects liés à la gestion et l'exploitation des stations de pompage d'eau.

Plus de 60% de la consommation d'énergie électrique, des services municipaux, revient aux systèmes d'approvisionnement en eau potable. Par conséquent la réduction du coût d'exploitation des stations de pompage contribue à la baisse de consommation énergétique globale, dans ce contexte, une étude menée, dans le cas d'une installation de pompage à deux groupes motopompes montés en parallèle, moyennant un modèle d'optimisation, faisant intervenir le rendement de la station de pompage et la tarification du volume d'eau fourni, a

proposé d'adopter une première stratégie impliquant la réduction du temps de démarrage (vue la pénalité) des pompes d'une part et du coût de fonctionnement moyen journalier ainsi que celui de l'énergie d'autre part. Comme seconde stratégie, les auteurs ont proposé de réduire, simultanément le nombre de démarrages des pompes et le coût du fonctionnement, ceci dans l'optique d'une consommation optimale d'énergie avec un coût réduit et un taux d'émission de dioxyde de Carbone réduit (W. Chen et al, 2020). [4]

A travers une autre voie et en considérant la variation du régime de consommation de l'eau potable le long de la journée et sa relation avec le coût d'exploitation de la station de pompage, l'exploitation optimale d'une station de pompage avec un coût d'énergie minimal et un rendement maximal se fait en adoptant le meilleur mode de réglage qu'il soit qualitatif ou quantitatif ou bien même par l'installation d'un by pass ou par injection d'air. Dans ce cadre, une étude a été élaborée moyennant le logiciel EPANET, qui est en concordance avec la méthodologie théorique d'adaptation des pompes à la demande et donc du contrôle de la consommation d'énergie (A.M. Georgescu et al, 2015) [5]

Dans le même contexte, des chercheurs ont abordé le pompage intermittent et celui dans les zones ruraux où les pressions sont très basses, alors que le réseau d'approvisionnement en eau potable est en charge. Dans cette étude, les eaux des forages sont pompées directement dans le réseau de distribution où règne une pression très basse, ainsi un autre type de risque a surgi concernant l'infiltration des eaux souterraines dans les conduites de distribution. En revanche, une modélisation judicieuse, moyennant EPANET, a permis de remédier à la sécurisation des canalisations (A. Pradhan et A. Tarai, 2006). [6]

Enfin et comme le monde de la technologie contribue, de façon continue, à résoudre les problèmes techniques complexes, parmi lesquels l'exploitation des stations de pompage d'eau potable, peut se voir en priorité. La complication se crée, en particulier, lorsqu'il s'agit de plusieurs sources et la question qui se pose chaque source va délivrer quelle quantité de débit ; en considérant la courbe de consommation.

L'ingénieur est confronté, pour un système de pompage, destiné à l'alimentation en eau potable, à assurer un coût réduit de l'énergie. Pour ce faire :

- Il procède par activation des pompes en fonction de la pression au refoulement lorsque la consommation augmente ou diminue à travers le réseau de canalisation, la pression y diminue ou augmente aussi.
- Il procède par activation des pompes en fonction du taux de remplissage
- Il procède par activation des pompes en heures fixes pendant la journée
- Il peut procéder par une combinaison adéquate de l'activation de pompes montées en parallèle, pour assurer une efficacité énergétique.
- Il peut utiliser un variateur de vitesses, ce qui permet de garder la même pression au refoulement pour des débits différents, en évitant l'utilisation de vannes de régulation.

Sous un axe distinct, la modélisation mathématique s'impose, pour répondre à une exploitation optimale avec une planification convenable du pompage.

Formulation mathématique de l'opération du pompage

Le pompage dont le rôle est d'augmenter la charge, ou plus précisément la pression au refoulement dans un réseau, peut être modélisé, en associant un variateur de vitesse, par (G. Bonvin, 2018) :

Cas de pompe en service :

$$\psi_k(q_{kt}, w_{kt}) = w_{kt}^2 \left(\alpha_k - \beta_k \left[\frac{q_{kt}}{w_{kt}} \right]^{\gamma_k} \right)$$

Avec :

α_k , β_k et γ_k sont des paramètres déterminés et fournis par le constructeur.

Les débits, q_{kt} , refoulés et les vitesses w_{kt} sont inclus dans $[Q_k^{min}, Q_k^{max}]$ et $[W_k^{min}, W_k^{max}]$

Cas de pompe hors service :

Dans ce cas, la pompe va se comporter comme une vanne fermée. [7]

1.7. Conclusion et problématique

Parvenir à une efficacité énergétique des stations de pompage revient à augmenter l'efficacité des groupes électromécaniques, du réseau électrique et de la transmission. Or, les pertes d'eau qu'elles soient au niveau de la pompe ou bien au niveau du réseau de distribution créent une contrainte majeure en plus de celle liée à la tarification du kWh consommée et ses pénalités.

L'analyse de cette situation nous suggère de répartir le problème en deux parties :

- La première concerne l'équipement électrique tel que les transformateurs, les câbles ; le réseau électrique et l'équipement électromécanique de la station de pompage. Dans ce cas une protection contre les surintensités, qui se traduisent par des surcharges ou de courts circuits, recommandée va permettre une hausse du rendement face à une diminution de la puissance absorbée
- La seconde partie concerne les pertes d'eau au niveau de la pompe ou bien des canalisations. Pour la pompe, l'utilisation de joints appropriés et des garnitures étanches peut contribuer à réduire les fuites d'eau. Or, dans le réseau de canalisations, la régulation de la pression contribue à une gestion optimale de la charge délivrée par la pompe et par suite d'optimiser le coût de consommation d'énergie. D'autre part, un fonctionnement optimal du réseau de distribution permet une gestion du profil de pression en vue d'une exploitation optimale de la station de pompage.

Dans le contexte, d'une exploitation optimale et une efficacité énergétique, nous cernons notre objectif de la présente étude autour de la gestion et le contrôle de la pression à travers une adduction par refoulement, en vue d'une exploitation optimale de la station de pompage.

Chapitre 2

Chapitre 2

Régulation et optimisation des Stations de Pompage

2.1. Introduction

La régulation implique la mesure continue d'une variable à ajuster, suivie de sa comparaison avec une consigne prédéterminée. En cas de divergence entre la consigne et la valeur mesurée de la variable, une modification automatique de la variable de commande est déclenchée pour corriger cet écart.

2.2. Techniques de Contrôle du Débit et de la pression d'un système de pompage

2.2.1. Régulation de vanne d'étranglement

La vanne de régulation est un mécanisme conçu pour gérer le débit d'eau, en ajustant sa quantité de manière à corriger les perturbations de charge. Son rôle essentiel est de maintenir la variable de procédé à une valeur aussi proche que possible du point de consigne défini.

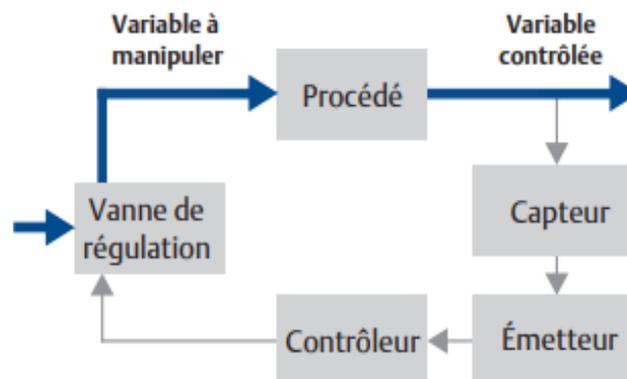


Figure1: boucle de contrôle de rétroaction. [8]

Il y a deux catégories de vannes de régulation, selon le mouvement de l'obturateur : celui-ci peut soit monter et descendre le long de la tige, soit adopter un mouvement rotatif. Les vannes à tige montante utilisent un déplacement linéaire pour déplacer l'obturateur à l'intérieur ou à l'extérieur d'une plage d'étanchéité. [8]

❖ **Avantage :**

- Permet un réglage fin du débit, offrant un contrôle précis sur la quantité de fluide.
- En régulant le débit, elles contribuent à abaisser la pression dans le système.
- Contribuent à économiser de l'énergie en évitant un débit excessif.

❖ **Inconvénients :**

- Dans certaines situations, elles peuvent provoquer des vibrations et du bruit indésirables.
- Sensibilité à la Contamination.
- Partiellement fermées, elles entraînent une perte d'énergie due à la résistance au passage du fluide.
- Le mécanisme de régulation peut subir une usure accrue en raison de la friction et des forces associées.
- Certaines vannes spécialisées peuvent être coûteuses à l'achat et à l'entretien.

2.2.2. Régulation par la variation de la course du piston

La figure 2 représente le schéma de la pompe à pistons axiaux dans un repère orthonormé (O, x, y, z). Les pistons sont alignés de manière parallèle à l'axe principal de la pompe. À l'extrémité gauche des tiges des pistons, celles-ci sont reliées par des liaisons rotules à un patin en contact avec le plateau incliné, dont l'angle est la source des mouvements alternatifs des pistons. [9]

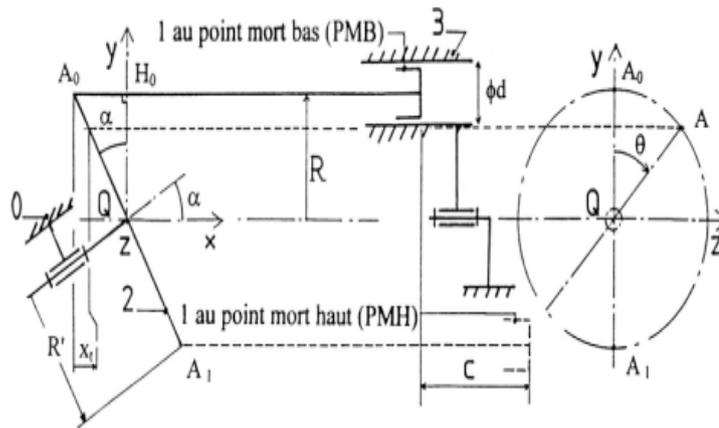


Figure 2: Schéma de la pompe. [9]

La modulation du débit peut s'effectuer en ajustant le nombre de cylindres, c'est-à-dire le nombre de pistons de la pompe.

Le graphe de la figure 3 représente la variation du coefficient d'irrégularité en fonction du nombre de pistons.

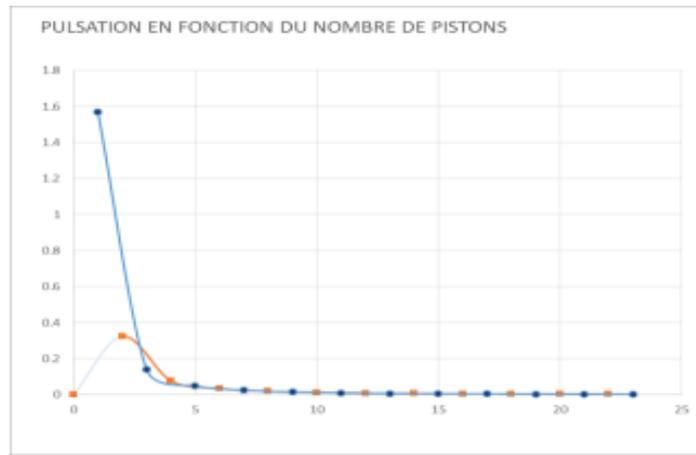


Figure 3 : Coefficient d'irrégularité en fonction du nombre de piston [9]

Les constatations suggèrent que l'augmentation du nombre de pistons est associée à une diminution du coefficient d'irrégularité. Par conséquent, pour améliorer la régularité de la pompe, il est recommandé d'augmenter le nombre de pistons. Il est à noter que pour une pompe ayant un nombre impair de pistons (n), une meilleure régularité est observée par rapport à une pompe ayant un nombre de pistons supérieur ($n+1$). [9]

❖ **Avantages :**

- La construction de ces machines est simple, nécessitant peu d'entretien.
- Les prix sont modérés, et les coûts de maintenance sont bas.
- Utilisation de matériaux de construction très variés, y compris des fluides corrosifs.
- Les pompes sont compactes et peu encombrantes.
- Elles offrent de bons rendements.
- Le débit est continu.
- En cas de dysfonctionnement du circuit de refoulement (colmatage), la pompe ne subit aucun dommage. [10]

❖ **Inconvénients :**

- Non auto-amorçant.
- Incompatible avec des fluides très visqueux.
- Requier l'utilisation de dispositifs d'équilibrage. [10]

4.2.3. Régulation par dispositif du contrôle de pression

Un régulateur est un dispositif mécanique conçu pour maintenir la pression, en réaction aux variations des conditions du système. Ces variations peuvent concerner le débit, la pression, la température ou d'autres facteurs normalement présents dans le fonctionnement du système. Contrairement aux vannes qui contrôlent le débit de manière constante, les régulateurs ajustent automatiquement la pression pour la maintenir au niveau désiré, faisant ainsi la distinction entre les deux types de dispositifs. [11]

➤ Types de régulateurs :

Il y a deux catégories principales de régulateurs : les détendeurs et les déverseurs.

- Les détendeurs ajustent la pression du processus en surveillant la pression de sortie et en la régulant vers le bas.
- Les déverseurs ajustent la pression du processus en surveillant la pression d'entrée et en la régulant vers le haut.

Le choix entre les deux dépend des exigences spécifiques du processus.

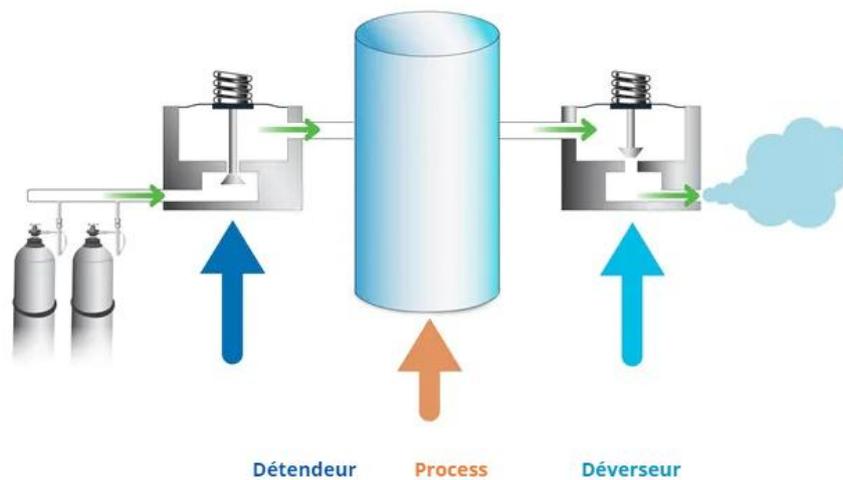


Figure 4 : types de régulateurs de pression [11]

❖ Avantages :

- Protection des appareils et installations.
- Consommation d'eau optimisée.
- Réduction des fuites et dégâts d'eau.
- Durée de vie prolongée des équipements.
- Confort d'utilisation.

❖ **Inconvénients :**

- Coût initial.
- Maintenance nécessaire.
- Potentiel de blocage.
- Limitation de débit.
- Sensibilité aux variations de pression.

2.2.4. Régulation par contrôle automatique

Les capteurs de pression d'eau évaluent la pression à l'intérieur des conduites. Ils transforment cette pression physique en un signal électrique, puis le convertissent en une valeur numérique affichée sur un dispositif externe. Ces capteurs sont déployés dans divers contextes tels que les réseaux municipaux d'approvisionnement en eau, l'irrigation, la régulation des procédés industriels, et la gestion des pompes. Le choix du capteur approprié dépend de plusieurs critères, notamment la plage de pression et de température, la précision, la compatibilité des matériaux, la dimension, la facilité d'installation, le type de sortie, et les considérations budgétaires. [12]

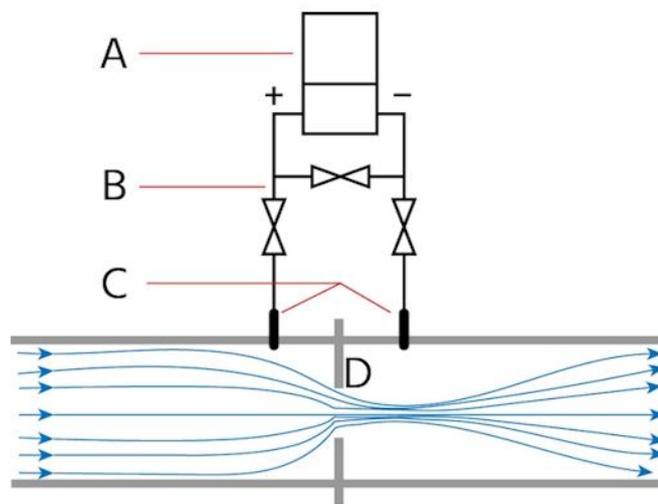


Figure 5 : Un transducteur de pression différentielle (A) possède deux points de connexion (C) à la conduite de chaque côté d'une restriction (D). Un collecteur à 3 vannes (B) protège le capteur si la pression dans le tuyau est trop élevée. [12]

Les capteurs de pression différentielle de l'eau (figure 5), sont conçus pour évaluer le débit dans une canalisation. Ces dispositifs de pression différentielle enregistrent les variations de pression à travers une restriction spécifique dans le conduit. Lorsque l'eau traverse cette restriction, sa vitesse s'accroît, entraînant une diminution de la pression. La mesure du débit repose sur une simplification du principe de Bernoulli. [12]

❖ **Avantages :**

- Précision.
- domaine d'emploi. [13]

❖ **Inconvénients :**

- Coût élevé.
- Complexité. [13]

2.3. Optimisation de l'énergie dans un système de pompage :

2.3.1. Economie d'énergie pour une pompe plus efficace

Une partie de l'énergie consommée par les systèmes de pompage est dissipée en raison d'une gestion inefficace lors de la phase d'exploitation. L'optimisation énergétique offre la possibilité de réduire significativement la consommation d'énergie, générant ainsi des effets positifs sur divers aspects économiques, techniques et environnementaux. Et pour optimiser l'énergie, l'utilisation de systèmes de gestion tels que le RNAG, les réseaux neurones profonds (DNN), les réseaux neurones convolutionnels (CNN), l'optimisation par essaim des particules (PSO), l'optimisation par essaim des d'abeilles artificielles (ABC), est mise en œuvre.

Le RNAG utilise des algorithmes génétiques pour l'optimisation et des réseaux de neurones artificiels pour prédire la consommation.

Pour anticiper la demande, la méthode des réseaux de neurones artificiels (RNA) a été adoptée en raison de sa remarquable capacité à résoudre les défis liés à la prévision de la demande en eau. Cela s'explique par son pouvoir efficace de gérer la relation non linéaire entre les variables influençant la demande en eau. Le modèle de prévision RNA est constitué de trois couches, comme illustré dans la figure 6 :

Une couche d'entrée, une couche cachée et une couche de sortie. La couche d'entrée comprend 44 neurones, répartis en 12 neurones pour le mois, 7 neurones pour le jour de la semaine, 24 neurones pour l'heure du jour, et 1 neurone pour la consommation de l'heure précédente.

L'apprentissage du modèle a été réalisé en utilisant une partie des données historiques, tandis que l'autre partie a été réservée à l'application concrète du modèle. [14]

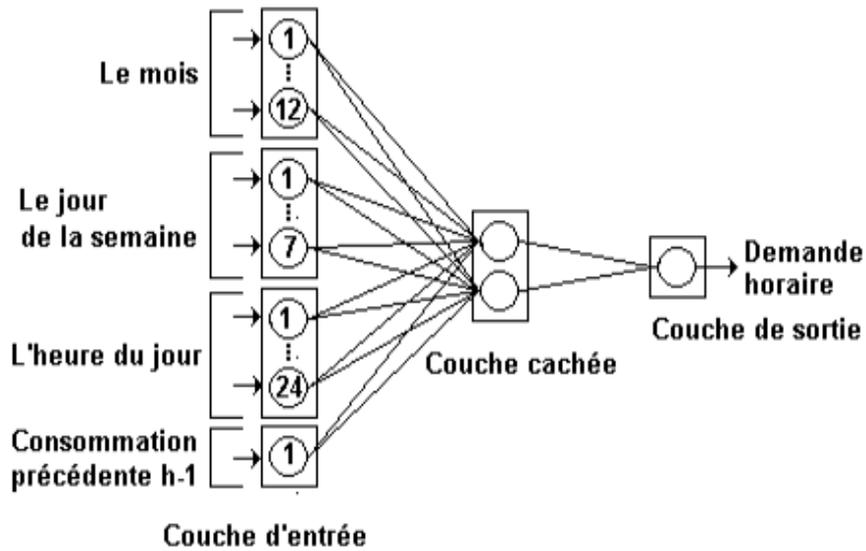


Figure 6 : Structure du modèle des réseaux de neurones artificiels [14]

L'outil de gestion RNAG parvient à une significative réduction de la consommation énergétique de la station de pompage. En plus de cette économie d'énergie, l'utilisation de l'outil RNAG garantit le respect des conditions de fonctionnement hydraulique en maintenant le niveau d'eau dans le réservoir entre les seuils minimal et maximal. Cela contribue non seulement à la préservation de la ressource en eau, mais également à assurer la continuité du service. [14]

2.3.2. Amélioration la performance énergétique des systèmes de pompage

Les stations de pompage, destinées à l'approvisionnement en eau sont les principales consommatrices d'électricité lors du déplacement de l'eau de la source vers les destinations finales. C'est pourquoi il est crucial d'améliorer l'efficacité énergétique de ces stations afin de réduire la consommation électrique de l'entreprise.

La manière la plus simple d'obtenir l'énergie nécessaire pour alimenter la station de pompage d'eau est d'installer des panneaux photovoltaïques (PV). Cette méthode est particulièrement efficace pour des emplacements éloignés ou dispersés. Toutefois, l'inconvénient de l'utilisation de panneaux solaires réside dans la dépendance aux conditions environnementales appropriées : la production diminue les jours nuageux, en automne et en hiver, et la localisation joue un rôle crucial. Pour les stations de pompage situées dans des zones rurales ou présentant une forte volatilité de la production électrique à partir des panneaux, des solutions peuvent être explorées en combinant PV avec un système de stockage d'énergie par batterie (BESS). [15]

4.3.2.1. Exemple d'efficacité énergétique d'une installation photovoltaïque

Dans le cadre de l'optimisation énergétique, les stations de pompes intègrent désormais des panneaux photovoltaïques pour exploiter l'énergie solaire. Cette solution permet de réduire la dépendance aux sources conventionnelles d'électricité et de favoriser une approche plus durable. Grâce à cette technologie, les stations de pompage peuvent fonctionner de manière plus efficace et respectueuse de l'environnement.

Il y a eu des tests de fonctionnement des panneaux photovoltaïques effectués sur une installation d'une puissance de 12,3 kW. L'installation photovoltaïque est installée sur un toit plat. 41 panneaux photovoltaïques sont installés en un système de 12 rangées, avec 2 à 4 panneaux chacune. Les données de production d'électricité ont été enregistrées dans la mémoire de l'équipement d'enregistrement pour chaque jour des 3 dernières années et pour chaque heure de l'année dernière. La moyenne des valeurs obtenues de la production d'électricité pendant la période de recherche a été utilisée pour l'analyse quotidienne. L'analyse horaire de l'auto-suffisance a été réalisée sur la base des données horaires de production d'électricité de l'installation. [15]

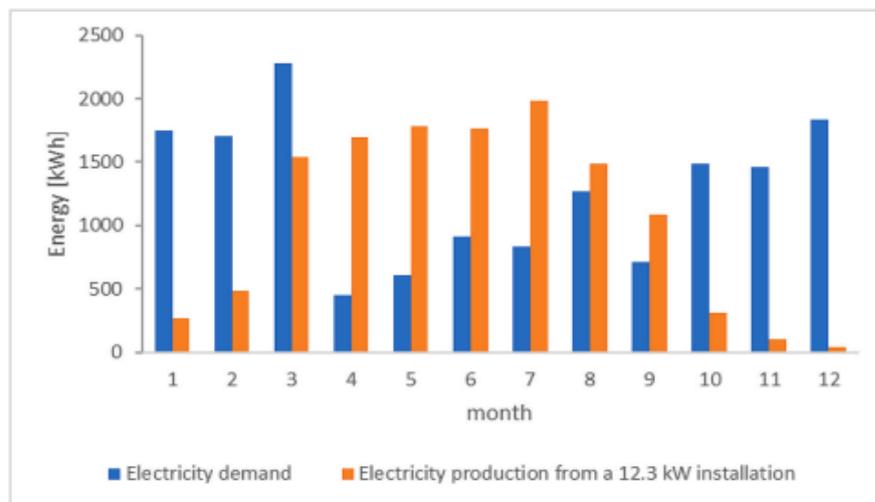


Figure 7 : Demande en électricité et production d'énergie à partir de l'installation photovoltaïque de 12,3 kW. [15]

La figure 7 montre une comparaison entre la demande en électricité pour la pompe à eau et l'électricité produite par un système photovoltaïque de 12,3 kW. D'avril à septembre, la quantité d'énergie produite par l'installation photovoltaïque est supérieure à la demande en électricité pour la pompe à eau. En mars, la production d'électricité couvrait plus de 68% des besoins énergétiques de la station de pompage. D'octobre à février, la production d'électricité

ce l'installation ne dépasse pas 30% de la demande, et en novembre et décembre, elle descend en dessous de 10% de la demande.

Dans la puissance de l'installation photovoltaïque, l'autosuffisance énergétique de la station de pompage d'eau n'a pas été atteinte tout au long de l'année. L'analyse du résumé de la demande quotidienne de consommation d'électricité et du résumé de la production quotidienne d'électricité avec la taille actuelle du réseau d'alimentation en eau et de la consommation d'eau montre que l'installation est autosuffisante pendant 6 à 7 mois. D'avril à septembre, soit pendant 6 mois, l'installation est autosuffisante en termes d'énergie, en supposant une installation de 12,3 kW. [15]

2.4. Régulation automatisé du chlore : Amélioré l'efficacité des stations de pompages

Le suivi de la concentration du Chlore, à travers la canalisation, entre dans le cadre d'une gestion efficace du système de pompage.

2.4.1. Contrôle de la quantité de chlore dans la station de pompage :

Les normes relatives au chlore résiduel sont déterminées par diverses institutions et varient en fonction de l'utilisation finale de l'eau. En ce qui concerne l'eau potable, il est recommandé que le niveau de chlore libre résiduel se situe entre 0,5 et 1 ppm.

Les seules approches recommandées pour les mesures en continu du chlore sont la méthode ampérométrique et la méthode colorimétrique avec DPD. [16]

2.4.1.1. Ampérométrie

Dans la méthode ampérométrique, un capteur est introduit dans la solution, où l'une des électrodes subit la réduction du chlore présent dans l'eau, générant ainsi une intensité de courant proportionnelle à la concentration de chlore. Cette méthode se décline en plusieurs versions, certaines visant à déterminer exclusivement le chlore libre et d'autres à évaluer le chlore total, chacune présentant des caractéristiques distinctes. L'avantage majeur de cette approche réside dans la possibilité de réaliser des mesures en continu, permettant ainsi un contrôle en ligne de la chloration avec des lectures en temps réel des valeurs de chlore dans l'échantillon. Plusieurs technologies sont mises en œuvre pour ce type de mesure, et nous les détaillons ci-dessous. [16]

❖ Senseur galvanométrique

Système électrode avec deux électrodes, Cuivre (Cu) et Platine (Pt ou (Au)), créant une différence de potentiel appropriée pour la réduction du chlore. Similaire à une pile galvanique, il génère spontanément une tension équivalente à celle du chlore. Cependant, cette tension est

totale­ment incontrôlée, susceptible de varier en réponse à des changements dans l'environnement électro­dique tels que le pH, la conductivité, ou la composition de l'échantillon. La surface de l'électrode en cuivre, sujette à une oxydation continue, doit être maintenue propre, souvent grâce à des systèmes abrasifs comme des brosses ou des billes de verre accélérées par la vitesse de l'eau, bien que leur efficacité ne soit pas toujours garantie à 100%.

En raison de ce mode de fonctionnement, une perte continue de masse de l'électrode survient, nécessitant un rechargement après une usure prolongée. Par conséquent, des incidents de dysfonctionnement des équipements sont fréquents, car il est difficile de garantir un fonctionnement continu en conditions optimales. [16]

❖ **Senseur potentiostatique de cellule fermée**

Afin de maintenir un contrôle constant du voltage de travail, une électrode de référence est utilisée pour ajuster le voltage en fonction des variations dans le milieu, assurant ainsi une mesure plus stable par rapport aux senseurs galvanométriques. Pour éviter la contamination des électrodes de travail, un système de membranes sélectives isole le système électro­dique du moyen de lecture. Cependant, l'utilisation de ces membranes peut entraîner des problèmes tels que le colmatage, rendant leur utilisation déconseillée dans des eaux sales. De plus, leur résistance à la pression et à la dépression est limitée, les rendant sujettes à des ruptures fréquentes. [16]

❖ **Senseur ampérométrique de cellule ouverte**

Ces senseurs ne bénéficient pas d'une protection par membrane, éliminant ainsi tous les problèmes associés à leur utilisation, en particulier en ce qui concerne la maintenance. Cependant, les électrodes de travail restent exposées à l'environnement en permanence, les rendant susceptibles de se salir. Néanmoins, l'utilisation d'un système de nettoyage électrochimique, modifiant le potentiel de travail pour induire une réaction électrochimique, permet de restaurer la surface électro­dique à son état initial.

Le système ampérométrique de mesure, bien qu'il soit plus complexe conceptuellement, est beaucoup plus simple à installer que le système colorimétrique. [16]

2.4.1.2. Colorimétrie

La méthode colorimétrique implique l'ajout de réactifs pour générer une couleur. Bien adaptée en laboratoire ou pour des mesures ponctuelles, elle présente des limitations en continu. Les systèmes colorimétriques en continu réalisent des échantillonnages temporaires, mais l'ajout

ce réactifs, le mélange et le développement de couleur prennent du temps, réduisant la fréquence d'échantillonnage. De plus, la cinétique de réaction est influencée par la salinité, ce qui peut entraîner des variations dans le développement de couleur, surtout dans des environnements à fluctuation de salinité. Cette méthode requiert un laboratoire et n'est pas couramment utilisée dans les stations de pompage. [16]

2.4.2. Gestion avancée de la chloration dans les réseaux d'eau

Lorsqu'on ajoute du chlore à l'eau, il vise à éliminer les bactéries, germes et matières organiques. Une partie de ce chlore, appelée chlore résiduel libre, persiste dans l'eau après cette élimination.

Ce chlore résiduel libre demeure dans l'eau jusqu'à sa dissipation naturelle ou jusqu'à ce qu'il soit mobilisé pour neutraliser de nouvelles contaminations. Détecter du chlore résiduel libre est encourageant, indiquant l'élimination des organismes dangereux et suggérant que l'eau est probablement propre à la consommation.

Il est crucial de mesurer ce chlore résiduel, souvent maintenu par la chloration continue, notamment dans les réseaux d'eau potable. Les points de test sont généralement situés à l'insertion du chlore, près du point de chloration, et aux extrémités du réseau. En cas de niveaux insuffisants, il est essentiel d'ajouter du chlore à un point intermédiaire du réseau.

[17]

❖ Avantages :

- Efficace contre de nombreux agents pathogènes, le chlore est abordable et disponible sous différentes formes : poudre, granulés, pastilles, liquide et gaz.
- Il se dissout facilement dans l'eau, assurant une désinfection résiduelle efficace, idéale pour les réseaux d'eau à longue distance.
- Son pouvoir rémanent assure une protection continue en aval du point de désinfection, préservant ainsi la sécurité microbiologique jusqu'au robinet du consommateur. [17]

❖ Inconvénients :

- Le chlore ne parvient pas à éliminer tous les micro-organismes et ne supprime pas les polluants chimiques présents dans l'eau.
- La suppression de la pollution chimique pose des défis plus complexes, exigeant une expertise et un équipement spécifiques.
- Il s'agit d'un oxydant puissant qui nécessite une manipulation et un dosage extrêmement prudents.

- Une utilisation excessive peut altérer le goût de l'eau, décourageant ainsi sa consommation par les utilisateurs. [17]

Pour la surveillance intelligente du chlore, diverses méthodes sont disponibles, parmi lesquelles nous mentionnons la méthode ci-dessous.

2.4.2.1. SOFREL ChlorIN : La Nouvelle Solution de LACROIX pour la Mesure en Ligne du Chlore Actif en Temps Réel

La solution SOFREL ChlorIN, dédiée à la mesure du chlore, offre une surveillance régulière du chlore dans les réseaux de distribution d'eau potable. En cas de dépassement des seuils prédéfinis, cette solution alerte les exploitants, assurant ainsi une gestion proactive.

Le kit complet SOFREL ChlorIN, composé d'un data logger SOFREL LS42, d'un capteur de chlore, d'un dispositif de montage et éventuellement d'un capteur de pression en option, permet une optimisation complète des performances des réseaux d'eau potable, offrant notamment :

- Suivi de la pression via le capteur (en option) piloté et alimenté par le data logger.
- Mesure du niveau de qualité du service.
- Surveillance des débits et volumes.
- Envoi d'alarmes en cas d'intrusions ou de débordements.

Communicant en 2G/3G et étanche (IP68), SOFREL ChlorIN intègre une antenne haute capacité et une vanne d'échantillonnage pour l'étalonnage du capteur de chlore.

Facile à installer et autonome, SOFREL ChlorIN s'adapte sans difficulté aux canalisations, assurant une surveillance continue sans impact sur la distribution d'eau. Pour simplifier davantage la mise en œuvre, la sonde de chlore est préconfigurée dans le logiciel SOFTTOOLS et est téléalimentée et pilotée par le data logger SOFREL LS42. [17]

2.5. Automatisation de la Détection du Niveau d'Eau dans les Réservoirs

Avec l'essor des technologies modernes, la gestion optimale des ressources hydriques devient impérative. Au cœur de cette évolution, l'automatisation de la détection du niveau d'eau dans les réservoirs se positionne comme une approche novatrice, ouvrant la voie à une surveillance efficace et à une utilisation judicieuse des réserves d'eau. Un exemple concret de cette avancée est l'utilisation du modem satellite.

La surveillance environnementale, en particulier dans le domaine hydrologique, revêt une importance cruciale. Parmi les indicateurs essentiels, le niveau de liquide dans les réservoirs occupe une place centrale. Pour répondre à ce besoin, Gonets Satellite System propose une

solution novatrice qui intègre un modem satellite à un capteur d'ondes radio. Des expérimentations ont été menées en collaboration avec les experts de la société "PNPPK" et "Gonets".

Le capteur émet périodiquement des ondes radio dirigées vers la surface du liquide, mesurant avec précision les paramètres du signal réfléchi. Ces données sont ensuite traitées et transmises depuis les points de surveillance à distance. Un logiciel dédié assure une surveillance en temps réel du niveau de liquide, analyse ses variations, et génère des alertes en cas d'événements prédéfinis, tels que l'atteinte d'un niveau critique ou le dépassement d'un débit spécifique sur une période donnée.

Cette solution offre une surveillance autonome et continue, éliminant la nécessité d'une expertise constante, tout en démontrant une grande précision de mesure, que ce soit dans des réservoirs ouverts ou fermés. Ce service garantit une vigilance constante des installations de stockage à distance pour les liquides, contribuant ainsi à la prévention des incidents d'origine humaine et des activités illégales. [18]

2.6. Les avantages de l'automatisation et de la régulation des pompes

- Augmentation de la sécurité de fonctionnement (Protection, Permutation automatique en cas d'incident, Surveillance).
- Amélioration du comportement en fonctionnement.
- Amélioration de la qualité des produits.
- Réduction des frais d'exploitation.
- Amélioration des informations sur l'installation. [19]

Conclusion

En conclusion, l'efficacité technique et économique des méthodes de régulation, en particulier la régulation automatique, est indéniable. Leur adoption généralisée témoigne de leur capacité à optimiser les processus industriels et à garantir des performances fiables.

Chapitre 3

Chapitre 3

Pompes : Gestion avec EPANET

3.1. Introduction

L'importance croissante accordée à l'efficacité énergétique met en évidence la nécessité d'un contrôle optimal des pompes centrifuges en fonction de la demande variable. Ce contrôle peut être effectué de différentes manières, notamment en ajustant le débit ou en utilisant des dérivations et des vannes, voire en isolant la pompe avec un réservoir sous pression. Pour faciliter ce contrôle dans diverses conditions de demande et de réseau, il est possible d'utiliser une simulation avec EPANET, en se basant sur des spécifications de conception spécifiques.

3.2. Définition

EPANET est un logiciel de simulation dédié à l'étude des réseaux hydrauliques sous pression. Il permet de modéliser le débit, la pression, le niveau d'eau et la concentration en substances chimiques dans le réseau. Son objectif principal est d'améliorer la compréhension de l'écoulement et de l'utilisation de l'eau dans les systèmes de distribution. Il offre également des fonctionnalités pour la planification de l'échantillonnage, la simulation du chlore résiduel et la recherche de stratégies de gestion alternatives. EPANET fournit un environnement convivial pour l'édition des données du réseau et la visualisation des résultats. [20]

3.3. Exploration d'EPANET dans la Gestion Hydraulique

Les étapes conventionnelles de l'utilisation d'EPANET pour modéliser un système hydraulique impliquent plusieurs actions. Tout d'abord, il faut dessiner un schéma du réseau représentant le système de distribution ou importer une description de base du réseau à partir d'un fichier texte préalablement enregistré (Figure 8.9). Ensuite, il est nécessaire de saisir les propriétés des différents éléments du réseau, puis de décrire le fonctionnement global du système. Après cela, il faut sélectionner un ensemble d'options de simulation adaptées aux besoins spécifiques. Une fois que toutes ces étapes sont accomplies, il est possible de lancer une simulation hydraulique ou une analyse de la qualité de l'eau. Enfin, les résultats de la simulation peuvent être visualisés et interprétés pour comprendre le comportement du système hydraulique étudié. [20]

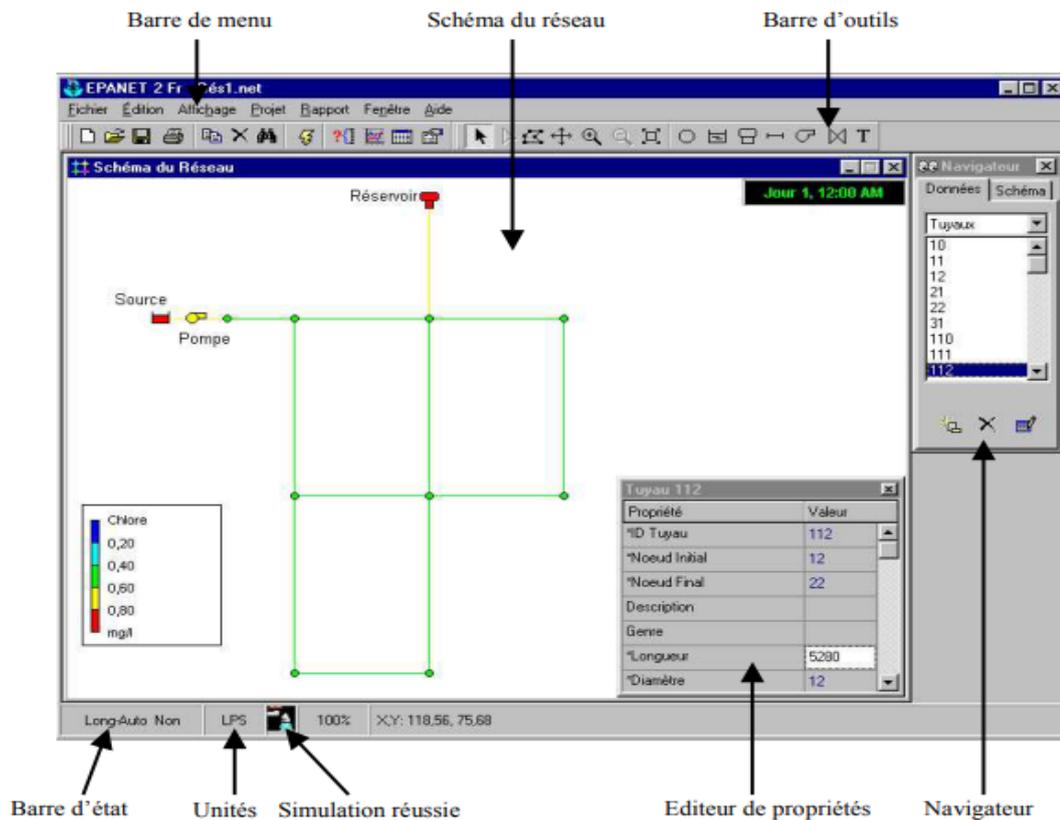


Figure 1: Présentation de l'écran. [21]

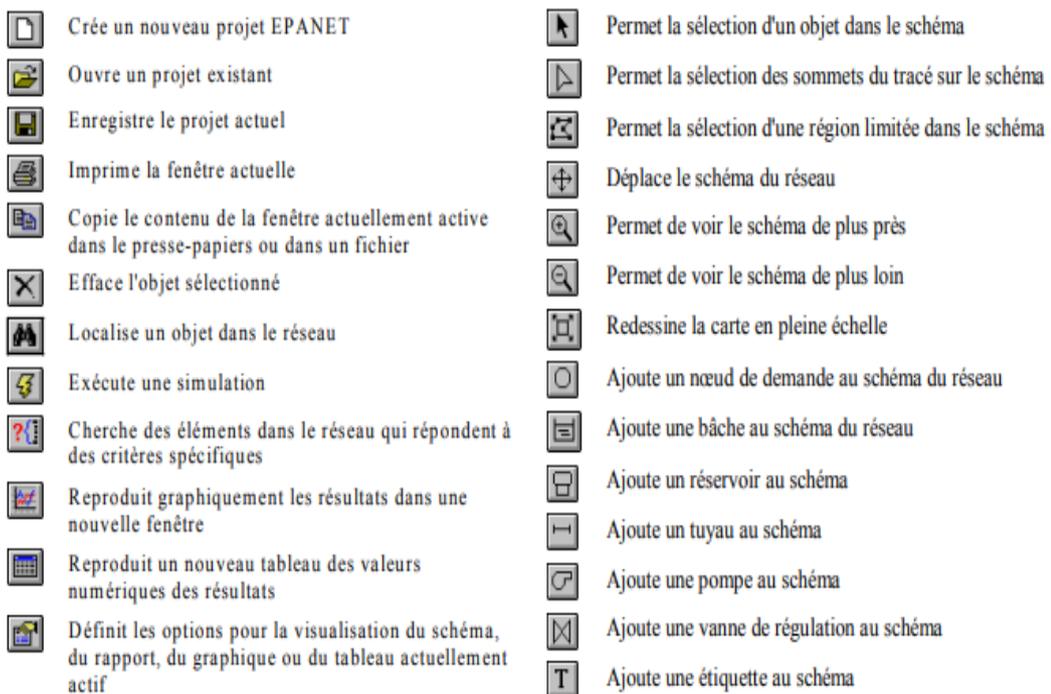


Figure 2: Présentation de la barre d'outils. [21]

3.4. Utilisation d'EPANET pour la Gestion Intelligente des Stations de Pompage : Application et Cas d'Étude

3.4.1. Étude de notre Cas : Simulation du Réseau de Pompage avec EPANET

3.4.1.1. Présentation de Cas d'Étude

Pour notre cas d'étude, nous avons une adduction par refoulement de la station de pompage vers le réservoir d'Ouled Sabor à Sétif. Notre station de pompage est alimentée par une bache d'aspiration via une conduite en PEHD PN16 de DN 500. Ensuite, la station de pompage, située à une altitude de 1139 m, refoule un débit de 254 L/s à travers une conduite en PEHD PN16 de DN 630 sur une distance de 4313 m vers le réservoir d'Ouled Sabor, situé à une altitude de 1248 m.

3.4.1.2. Contrôle de Pression dans les Cas de Simulation de Réseaux avec Epanet

Dans notre cas d'étude, Epanet est utilisé pour surveiller la pression dans chaque nœud du réseau, en effectuant des simulations portant sur trois variations de débit sur une période de 24 heures. Cela nous permet d'analyser les fluctuations de pression dans ces différents scénarios.

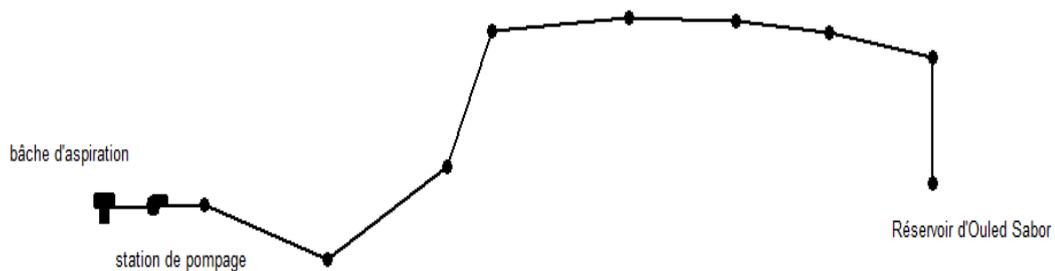


Figure 3: Visualisation du Réseau dans Epanet.

Pour les données entrant dans chaque élément du réseau, nous disposons de :

- Réservoir (ou bache) : la côte radier, le niveau de remplissage.
- Pompe : la courbe de la pompe ($HMT = f(Q)$).
- Conduite : longueur, diamètre, rugosité.
- Nœuds : la côte de terrain, débit.

a. Analyse de la Courbe de Modulation d'une Pompe par EPANET

Une courbe de modulation permet de modifier une valeur de base au fil du temps en utilisant des multiplicateurs. On peut appliquer ces courbes à différents éléments, comme un nœud, une réserve d'eau, la vitesse d'une pompe, la qualité de l'eau d'une source ou encore le prix de l'énergie. Chaque courbe de modulation est définie pour des intervalles de temps égaux, tous ayant la même durée spécifiée dans les Options de Temps du projet. Pendant chaque intervalle, la valeur du paramètre reste constante, calculée en multipliant sa valeur nominale par le multiplicateur de la courbe de modulation pour cet intervalle. Bien que tous les intervalles aient la même durée, les courbes peuvent avoir un nombre de périodes différent. Si la simulation dépasse la durée définie par le nombre de périodes d'une courbe de modulation, elle recommence depuis le début de la première période pour continuer la simulation. [22]

Dans notre réseau, nous avons utilisé la courbe de modulation pour analyser la variation de pression à chaque nœud en fonction des variations de débit horaire sur une période de 24 heures.

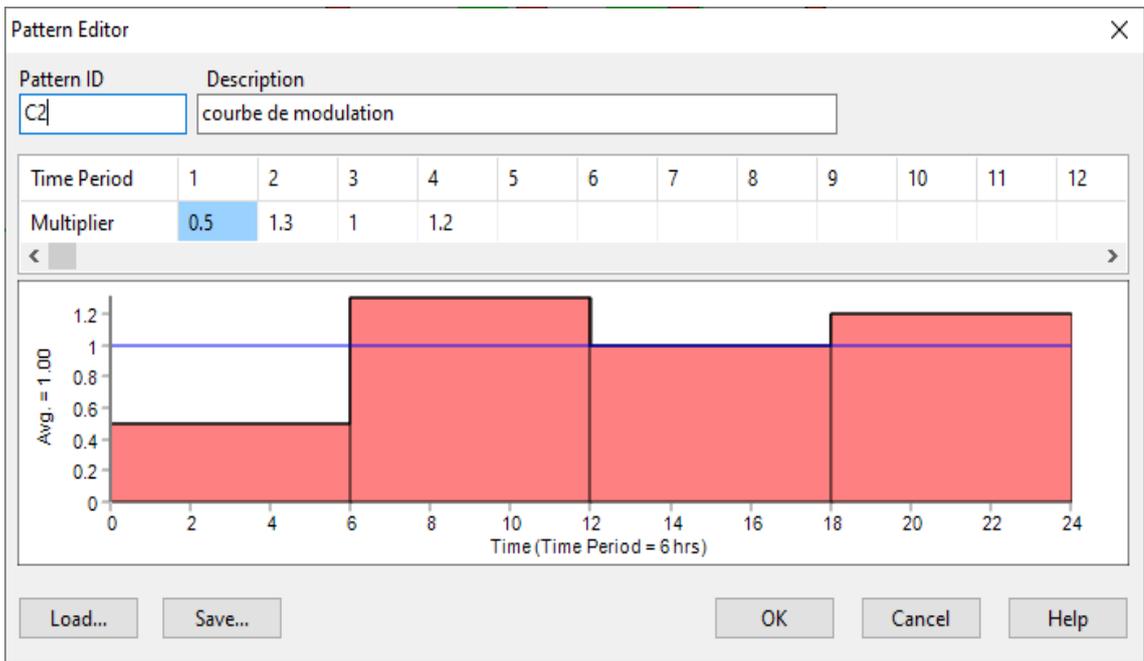


Figure 4: Courbe de Modulation.

❖ Cas Débit forcé :

Dans ce cas, la pompe refoule un débit de 254 L/s. Les résultats de la simulation sont présentés dans le tableau ci-dessous :

heures	Qmax, j =21945.6m3/j		pression (bar)								Puissance (kW)	
	H	M3/h	L/s	nœud 1	nœud 2	nœud 3	nœud 4	nœud 5	nœud 6	nœud 7	R2	P kw
0-1	329.184	91.44	11.6	11.8	7.5	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79		133.838
1--2	329.184	91.44	11.6	11.8	7.5	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79		133.838
2--3	329.184	91.44	11.6	11.8	7.5	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79		133.838
3--4	329.184	91.44	11.6	11.8	7.5	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79		133.838
4--5	548.64	152.4	11.8	11.9	7.6	7.3	4.6	5.1	0.76	0.79		225.740
5--6	768.096	213.36	12	12.1	7.8	7.5	4.6	5.2	0.76	0.79		321.654
6--7	987.552	274.32	12.3	12.4	8	7.8	4.7	5.3	0.77	0.79		423.188
7--8	1207.008	335.28	12.6	12.6	8.2	7.8	4.8	5.4	0.77	0.79		531.946
8--9	1371.6	381	12.8	12.8	8.3	7.9	4.9	5.4	0.77	0.79		619.221
9--10	1371.6	381	12.8	12.8	8.3	7.9	4.9	5.4	0.77	0.79		619.221
10--11	1371.6	381	12.8	12.8	8.3	7.9	4.9	5.4	0.77	0.79		619.221
11--12	1371.6	381	12.8	12.8	8.3	7.9	4.9	5.4	0.77	0.79		619.221
12--13	1097.28	304.8	12.4	12.5	8.1	7.7	4.8	5.3	0.77	0.79		476.564
13-14	1097.28	304.8	12.4	12.5	8.1	7.7	4.8	5.3	0.77	0.79		476.564
14-15	1207.008	335.28	12.6	12.6	8.2	7.8	4.8	5.4	0.77	0.79		531.946
15-16	1316.736	365.76	12.7	12.8	8.2	7.9	4.9	5.4	0.77	0.79		589.536
16-17	1316.736	365.76	12.7	12.8	8.2	7.9	4.9	5.4	0.77	0.79		589.536
17-18	1207.008	335.28	12.6	12.6	8.2	7.8	4.8	5.4	0.77	0.79		531.946
18-19	1097.28	304.8	12.4	12.5	8.1	7.7	4.8	5.3	0.77	0.79		476.564
19-20	987.552	274.32	12.3	12.4	8	7.8	4.7	5.3	0.77	0.79		423.188
20-21	877.824	243.84	12.1	12.3	7.9	7.6	4.7	5.2	0.76	0.79		371.619
21-22	658.368	182.88	11.9	12	7.7	7.4	4.6	5.2	0.76	0.79		273.095
22-23	438.912	121.92	11.7	11.8	7.6	7.3	4.5	5.1	0.76	0.79		179.388
23-24	329.184	91.44	11.6	11.8	7.5	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79		133.838

Tableau 1 : Résultats de Pression par Nœud selon Epanet pour le cas de débit forcé.

Les données obtenues concernant la pression à travers l'émetteur sont illustrées dans la Figure 5.

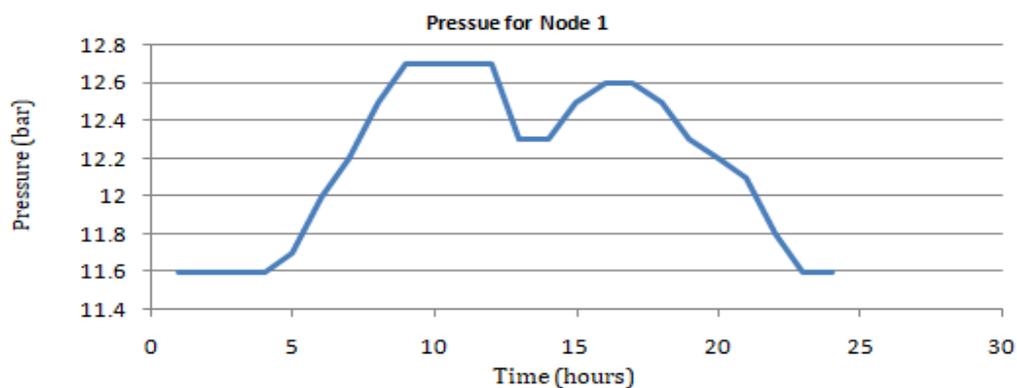


Figure 5: Les valeurs de pression à l'émetteur au nœud 1 pour une période de 24 heures.

❖ **Cas Débit D'équipement :**

Dans ce cas, la pompe refoule un débit de 239 L/s. Les résultats de la simulation sont présentés dans le tableau ci-dessous :

heures	Qmax, j =20649.6m3/j		pression (bar)								Puissance (KW)
	H	M3/h	L/s	nœud 1	nœud 2	nœud 3	nœud 4	nœud 5	nœud 6	nœud 7	R2
0-1	309.744	86.04	11.6	11.7	7.6	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79	125.837
1--2	309.744	86.04	11.6	11.7	7.6	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79	125.837
2--3	309.744	86.04	11.6	11.7	7.6	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79	125.837
3--4	309.744	86.04	11.6	11.7	7.6	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79	125.837
4--5	516.24	143.4	11.7	11.9	7.6	7.3	4.5	5.1	0.76	0.79	211.958
5--6	722.736	200.76	12	12.1	7.8	7.4	4.6	5.2	0.76	0.79	301.422
6--7	929.232	258.12	12.2	12.3	7.9	7.8	4.7	5.3	0.77	0.79	395.567
7--8	1135.728	315.48	12.5	12.5	8.1	7.7	4.8	5.3	0.77	0.79	495.731
8--9	1290.6	358.5	12.7	12.7	8.2	7.8	4.9	5.4	0.77	0.79	575.608
9--10	1290.6	358.5	12.7	12.7	8.2	7.8	4.9	5.4	0.77	0.79	575.608
10--11	1290.6	358.5	12.7	12.7	8.2	7.8	4.9	5.4	0.77	0.79	575.608
11--12	1290.6	358.5	12.7	12.7	8.2	7.8	4.9	5.4	0.77	0.79	575.608
12--13	1032.48	286.8	12.3	12.4	8	7.8	4.8	5.3	0.77	0.79	444.813
13-14	1032.48	286.8	12.3	12.4	8	7.8	4.8	5.3	0.77	0.79	444.813

14-15	1135.728	315.48	12.5	12.5	8.1	7.7	4.8	5.3	0.77	0.79	495.731
15-16	1238.976	344.16	12.6	12.7	8.2	7.8	4.8	5.4	0.77	0.79	548.487
16-17	1238.976	344.16	12.6	12.7	8.2	7.8	4.8	5.4	0.77	0.79	548.487
17-18	1135.728	315.48	12.5	12.5	8.1	7.7	4.8	5.3	0.77	0.79	495.731
18-19	1032.48	286.8	12.3	12.4	8	7.8	4.8	5.3	0.77	0.79	444.813
19-20	929.232	258.12	12.2	12.3	7.9	7.8	4.7	5.3	0.77	0.79	395.567
20-21	825.984	229.44	12.1	12.2	7.8	7.5	4.7	5.2	0.76	0.79	347.826
21-22	619.488	172.08	11.8	12	7.7	7.4	4.6	5.2	0.76	0.79	256.188
22-23	412.992	114.72	11.6	11.8	7.6	7.3	4.5	5.1	0.76	0.79	168.563
23-24	309.744	86.04	11.6	11.7	7.6	7.2	4.5	5.1	0.76	0.79	125.837

Tableau 2 : Résultats de Pression par Nœud selon Epanet pour le cas de débit d'équipement.

Les données relatives à la variation du débit à travers l'émetteur sont représentées dans la Figure 6.

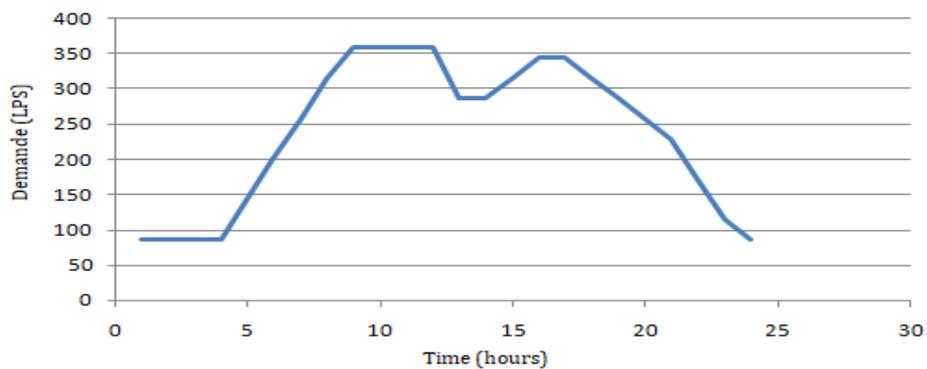


Figure 6 : Les valeurs de débit pour la pompe pendant une période de 24 heures.

❖ Cas de vanne de refoulement fermée:

Dans ce cas, la pompe ne refoule aucun débit. Les résultats de la simulation sont présentés ci-dessous.

Le tableau ci-dessous présente les pressions dans chaque nœud :

Débit		pression (bar)								Puissance (KW)
M3/h	L/s	nœud 1	nœud 2	nœud 3	nœud 4	nœud 5	nœud 6	nœud 7	R2	Pu
0	0	16.3	16.5	12.3	12	9.3	9.9	5.5	0.8	0

Tableau 3 : Résultats de Pression par Nœud selon Epanet pour le cas de débit nul.

3.4.1.3. Analyse des Résultats de Simulation Concernant le Contrôle des Pressions et puissances avec EPANET :

La simulation avec EPANET fournit une vue détaillée des variations de pression dans chaque nœud du réseau à chaque heure pendant les 24 heures de fonctionnement de la station de pompage. Nous avons observé que dans les trois cas de variation de débit examinés, la pression ne dépasse pas 16 bars au maximum et descend à un minimum de 0,7 bar. Étant donné que nos conduites sont conçues pour résister jusqu'à 16 bars avec une marge de sécurité supplémentaire. Toutefois, si des pressions anormales étaient détectées, il serait possible d'ajouter des vannes régulatrices de pression dans la simulation du réseau afin de contrôler les variations de pression. Cela permettrait de garantir le respect des normes de pression tout au long du fonctionnement du réseau. En parallèle la puissance varie entre une valeur minimale de 125KW et une valeur maximale égale à 619KW, ce qui va permettre à exploitant d'optimiser le fonctionnement de pompage.

Conclusion

En conclusion, les résultats obtenus confirment la validité du modèle utilisé pour la simulation et la gestion des variations dans le réseau. L'utilisation d'EPANET a permis une analyse approfondie du problème et simplifiée par la présentation visuelle des données à travers des graphiques et des tableaux, offrant ainsi une meilleure compréhension de la dynamique du système étudié.

Document téléchargé depuis: <http://dspace.ensh.dz>

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les pompes jouent un rôle crucial dans divers domaines, de l'approvisionnement en eau à l'assainissement, en garantissant le déplacement efficace des fluides. Au cœur de ce processus se trouve la station de pompage, un maillon essentiel de l'infrastructure hydraulique. Cette installation permet de contrôler et de réguler le flux de liquides, assurant ainsi la distribution adéquate des ressources hydriques.

L'automatisation est un élément clé pour optimiser le fonctionnement d'une station de pompage. Elle permet un contrôle précis de paramètres vitaux tels que la pression, la concentration de produits chimiques comme le chlore, ou encore le niveau d'eau dans les réservoirs. Cette automatisation garantit une gestion efficace et réactive, assurant la disponibilité constante des ressources en eau tout en minimisant les coûts opérationnels et les risques de défaillance.

Dans ce contexte, les outils de modélisation comme EPANET jouent un rôle crucial dans la surveillance et l'optimisation des systèmes de pompage. En permettant l'analyse et la simulation des variations de pression à tout moment, ils offrent aux opérateurs une vision globale et précise de la performance du réseau. Ainsi, en combinant automatisation et modélisation, l'utilisation optimale de la station de pompage peut être atteinte, garantissant un approvisionnement en eau fiable et efficient.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] J.Launay et G.Perrotin,1990. Liquides à pression moyenne-Station de pompage. In : Techniques de l'ingénieur. Réf. : B4340 V1. Paris : Techniques de l'ingénieur, 1990. Disponible sur : www.techniques-ingenieur.fr. Consulté le 24/11/2023
- [2] H.Godart,2000. Adduction et distribution d'eau. In : Techniques de l'ingénieur. Réf. : C5195 V2. Paris : Techniques de l'ingénieur, 2000. Disponible sur : www.techniques-ingenieur.fr. Consulté le 24/11/2023
- [3] I. Ouedraogo. Efficaciteenergetique des stations de Pompage de l'onea : cas de la station de pompage 3(SP3) de Ouagadougou. Master ;Ingenierie en genieelectrique et energetique. Institut International d'Ingénierie ; Burkina Faso. 2019
- [4] W. Chen et al. Genetic optimization toward operation of water intake-supply pump stations system. Journal of Cleaner Production, Vol (279) ,pp: 01-11. (2019)
- [5] A.M. Georgescu et al. EPANET simulation of control methods for centrifugal pumps operating under variable system demand. Procedia Engineering, Vol(119); pp:1012–1019. (2015)
- [6] A. Pradhan et A. Tarai. Modelling intermittent water supply systems with epanet. 8th annual WD symposiumEPA Cincinnati, August 27-30, 2006 ; pp :01-07.
- [7] Gratién Bonvin. Contrôle optimal et dimensionnement des stations de pompage dans les réseaux de distribution d'eau potable. Doctorat ; Optimisation et contrôle. Université Paris sciences et lettres, 2018.
- [8] Manuel de la vanne de régulation, cinquième édition, 2019.
- [9] Etude de la régularité du débit d'une pompe hydraulique a piston axiaux, February 2021
- [10] A. Zerrouk, Cours de système hydrauliques et pneumatiques (UED.3.1), 2016/2017.
- [11] [Swagelok.com /Fr/ blog/ how to choose a regulator.](http://Swagelok.com/Fr/blog/how-to-choose-a-regulator)
- [12] L. Simonson, Capteur de pression d'eau: principales caractéristiques et utilisations, 2023.
- [13] R. Hatterer, Capteurs de pressions.
- [14] A. Bouach, S. Benmamer, Optimisation énergétique d'un système de pompage. Application a la station de Rassauta, juin, Décembre, 2017.
- [15] K. Sołtochowski, Analysis of the possibility of energy self-sufficiency of water pumping stations with the use of PV installations, February, 2023.
- [16] Chloration de l'eau potable, Dosing pumps.
- [17] [http://w.w.w.monreseau.eau.fr / actualités/ pourquoi – comment – surveiller – chlore actif – réseau – eau /](http://w.w.w.monreseau.eau.fr/actualites/pourquoi-comment-surveiller-chlore-actif-reseau-eau/)
- [18] Gonets : les possibilités du système, par kosmosnews, 10 novembre 2022.
- [19] Régulation des pompes / automatisation se pompes, savoir-faire KSB, volume 4, Edition Janvier 2009.
- [20] A. Rossman, Epanet 2.0, simulation hydraulique et qualité pour les réseaux d'eau sous pression, 1 Septembre 2003.
- [21] Epanet 2.0, version français – Aide a l'utilisation.
- [22] Maitrise du logiciel Epanet, clearing centre université Mila, 2024.