

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEINEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE A. MIRA-BEJAIA



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme Master

Département : Génie électrique

Filière : Electrotechnique

Option : Automatismes Industriels et Electrotechnique Industrielle

Thème :

**Développement d'une station d'expérimentation pour
l'automatisation et la surveillance en temps réel d'un système de
pompage**

Présenté par :

Mr. CHIBANI Aymen

Mr. BOUKELLOUDA Naim

Encadré par :

Mr. R. MEDJOU DJ

Mr. B. AMROUCHE

Examineurs :

Mr. AMIMEUR Houcine

Mr. MEBARKI Nacer

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

Tout d'abord, je remercie ALLAH Le Tout-Puissant qui m'a donné la force, le courage, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail. À travers ces quelques lignes, je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui mon aider, par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leurs conseils, m'ont encouragé à accomplir ce mémoire. Je remercie en premier lieu mes parents, pour m'avoir permis de poursuivre mes études et pour leur soutien inconditionnel, ainsi que le corps professoral et administratif du département génie électrique de l'université de béjaia, pour leur engagement à améliorer la qualité de notre formation. Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers mes encadrants, M. R. Medjoudj et M. B. Amrouche. De plus, je remercie M. W. Bakiri et les membres du jury, qui ont bien voulu consacrer de leur temps pour commenter, discuter et évaluer notre travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père ;

Ma mère ;

Toute ma famille ;

Tous mes amis et mes collègues ;

Ceux qui ont priés pour moi, encourage et m'ont aidé.

CHABANI ARMEN

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mon père, à ma mère, leur amour, leur soutien inébranlable et leurs sages conseils ont toujours été présents à mes côtés. Mon père, avec sa force et sa détermination, m'a montré l'importance de la persévérance et du travail acharné. Ma mère, par sa tendresse et sa compréhension, m'a enseigné la valeur de la compassion et de la résilience.

Chacun d'eux a contribué de manière unique à mon parcours, me montrant l'importance de l'intégrité, de l'effort et de la bienveillance. Sans leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants, je ne serais pas là où j'en suis aujourd'hui. Ils m'ont offert des modèles de vie exemplaires et ont façonné la personne que je suis devenue.

Je dédie ce travail aussi :

À tous mes amis dans la vie et mes amis de ma promo,

À tous mes professeurs du département génie électrique,

À mon ami d'enfance Massyles

À celui avec qui je partage tant de choses en ce monde, Amine

À mes frères et sœurs et aussi à ma copine houda qui m'ont accompagné durant le parcours universitaire.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, j'exprime ma profonde gratitude et mon amour sincère. Ce travail est le reflet de leur influence positive et de leur impact inestimable sur ma vie.

Naim

Sommaire

Introduction générale.....	1
I.1. Introduction	3
I.2. Techniques de développement des stations de pompages	6
I.2.1. Conception et Fonctionnement	6
I.2.2. Évolution des Technologies	6
I.2.3. Gestion et Maintenance.....	6
I.2.4. Évolution de la Formation	7
I.2.5. Évolution de l'Instrumentation.....	7
I.2.6. Durabilité et énergie renouvelable	7
I.2.7. Matériaux et conception avancés	7
I.3. Défis et directions futures.....	8
I.3.1. Changement climatique et urbanisation.....	8
I.3.2. Pompes immergées et contrôleurs électroniques	8
I.4. Pompes solaires dans les systèmes de gestion de l'eau.....	8
I.5. Exemples de projets des stations de pompages	9
I.5.1. Le projet de pompage de l'eau du Lac Nasser	9
I.5.2. Le projet de rénovation des stations de pompage de la métropole de Lyon	9
I.5.3. Le projet de construction de stations de pompage STEP.....	10
I.5.4. Le projet de construction de stations de pompage marines	10
I.6. Conclusion.....	11
II.1. Introduction	12
II.2. L'automatisme :.....	12
II.3. Objectif de l'automatisation :.....	13
II.4. Les systèmes automatisés :	13
II.4.1. La partie opérative (PO).....	14
II.4.2. La partie commande (PC)	14
II.4.3. La partie relation (PR).....	14
II.5. Historique Des automates programmables :.....	15
II.6. Définition de l'Automate programmable :	15
II.7. Mise en œuvre d'un automate :	15
II.8. Programmation des automates :	16
II.9. Critères de choix d'un automate :	16
II.10. Traitement du programme automate :	17
II.11. Langage de programmation pour API	17
II.11.1. Le langage LD (Ladder Diagram).....	18
II.11.2. Le langage IL (Instruction List).....	18
II.11.3. Le langage FBD (Function Block Diagram).....	18
II.11.4. Le langage ST (Structured Text) :	19
II.11.5. Le langage SFC (Sequential Function Chart), ou GRAFCET :.....	19

II.12. Les avantages et les inconvénients de l'automatisation :.....	19
II.13. Domaines d'application des systèmes automatisés :.....	20
II.14. Caractéristiques d'un automatisme :.....	20
II.15. Structure interne des automates programmables :.....	21
II.15.1. Le processeur.....	21
II.15.2. Les mémoires.....	22
II.15.3. Les modules entrées/sorties.....	22
II.15.4. L'alimentation.....	23
II.15.5. Liaisons de communication.....	23
II.16. Présentation de l'automate S7 – 300 :.....	23
II.16.1. Modularité.....	24
II.16.2. Module d'alimentation.....	25
II.16.3. Unités centrales (CPU).....	25
II.16.4. Coupleur (IM).....	26
II.16.5. Module communication (CP).....	26
II.16.6. Modules de fonctions (FM).....	26
II.16.7. Modules de signaux (SM).....	26
II.16.8. Modules de simulation (SM 374).....	26
II.17. Caractéristiques techniques :.....	27
II.18. Avantages :.....	27
II.19. Programmation de l'automate S7 – 300.....	28
II.19.1. Logiciel de programmation.....	28
II.19.2. Les langages de programmation.....	28
II.19.2.1. Le CONT.....	28
II.19.2.2. Le LOG.....	29
II.19.2.3. Le LIST.....	29
II.20. Conclusion.....	30
III.1. Introduction.....	31
III.2. Les équipements.....	31
III.2.1. Actionneur.....	31
III.2.1.1. Pompe.....	31
III.2.1.2. Electrovanne.....	31
III.3. Les capteurs.....	32
III.3.1. Capteur de niveau.....	32
III.3.2. Transmetteur de pression.....	33
III.4. Les équipements de protection.....	33
III.4.1. Disjoncteur.....	33
III.4.1.1. Le fonctionnement.....	33
III.4.2. Disjoncteur –moteur.....	34
III.4.2.1. Définition.....	34
III.4.3. Contacteurs.....	35
III.4.3.1. Le fonctionnement.....	35

III.4.4. Relais thermique.....	36
III.4.4.1. Définition.....	36
III.4.5. Relais de phase.....	36
III.4.6. Relais à broches.....	37
III.4.7. Relais de niveau.....	37
III.5. Voyant.....	38
III.6. Boutons poussoir.....	38
III.7. Variateur de vitesse : SINA MICS V20- 0.75 kW.....	39
III.7.1. Constitution d'un variateur de vitesse :.....	39
III.7.2. Caractéristiques de SINAMICS V20- 0.75kw :.....	40
III.7.3. Définition des entrées et sortie de SINAMICS V20- 0.75kw.....	40
III.7.4. Schéma de câblage de SINAMICS V20- 0.75kw.....	41
III.8. Conclusion.....	42
IV.1. INTRODUCTION.....	43
IV.2. Présentation des outils de programmation.....	43
IV.2.1. Description du logiciel Step7.....	43
IV.2.2. Description du logiciel WinCC flexible.....	43
IV.2.3. Régulation de la station.....	44
IV.2.4. Choix du régulateur.....	44
IV.2.5. Définition du régulateur PID.....	44
IV.3. Banc d'essai.....	44
IV.3.1. Description de notre système.....	44
IV.4. Cahier de charge.....	46
IV.4.1. Description Détaillée du Processus de Remplissage et de Régulation de la cuve.....	46
IV.5. Table de mnémonique.....	47
IV.6. Programmation de la station avec le logiciel Step7.....	48
IV.6.1. Démarrage de la pompe.....	49
IV.6.2. Détection de niveau en temps réel.....	54
IV.6.3. Régulation de niveau avec régulateur PID.....	55
IV.7. Supervision avec le logiciel WinCC flexible.....	57
IV.7.1. Le choix de pupitre.....	57
IV.7.2. La supervision.....	58
IV.7.2.1. La supervision avec IHM WinCC flexible.....	58
IV.7.2.2. Discussions des courbes :.....	60
IV.8. Conclusion.....	61
Conclusion générale.....	62
Références.....	65
Annexe.....	67

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Pompe solaire	8
Figure I.2: Projet lac Nasser	9
Figure I.3 : Projet de rénovation de la station de pompage de la métropole de Lyon.	10
Figure I.4 : Projet de construction de stations de pompage STEP	10
Figure I.5 : Projet de construction de stations de pompage marines	11

Chapitre II

Figure II.1 : Structure d'un système automatisé.	13
Figure II.2 : Fonctionnement cyclique d'un automate.	17
Figure II.3: Structure interne d'un API.....	21
Figure II.4 : Automate programmable S7 – 300	24
Figure II.5:Automate S7-300.....	25
Figure II.6 : Exemple de programmation en langage à contact	29
Figure II.7 : Exemple de programmation en langage LOG	29

Chapitre III

Figure III.1: Pompe	31
Figure III.2:Electrovanne.....	32
Figure III.3 : Capteur de niveau	32
Figure III.4 : Transmetteur de pression	33
Figure III.5 : Disjoncteur	34
Figure III.6 : Disjoncteur moteur.....	34
Figure III.7 : Contacteur	35
Figure III.8 : Relais thermique.	36
Figure III.9 : Relais de phase.....	36
Figure III.10 : Relais à broches	37
Figure III.11 : Relais de niveau	37
Figure III.12 : Voyants.....	38
Figure III.13 : Boutons poussoirs	38
Figure III.14 : Variateur de vitesse.	39
Figure III.15 : Variateur de vitesse	40
Figure III.16: Plaque signalétique de SINAMICS V20-0.75 kW.....	40
Figure III.17 : Schéma de câblage de SINAMICS V20-0.75 kW.....	41

Chapitre IV

Figure IV.1 : Système de pompage	45
Figure IV.2 : Table de mnémonique	47
Figure IV.3 : Choix de la CPU.....	48
Figure IV.4 : Cycle d'exécution et choix du langage	48
Figure IV.5 : Contenus du bloc OB1	49
Figure IV.6 : Mode arrêt	49
Figure IV.7 : Mode manuel.....	50
Figure IV.8 : Mode auto.....	50
Figure IV.9 : Sécurité de pompe	51
Figure IV.10 : Démarrage de la pompe.....	51
Figure IV.11 : Affectation de la consigne de pompe.....	52

Figure IV.12 : Sortie analogique de la pompe	53
Figure IV.13 : Ouverture de vanne en cas débordement.....	53
Figure IV.14 : Scale pompe	54
Figure IV.15 : Détection de niveau en temps réel.....	54
Figure IV.16 : Régulateur PID	56
Figure IV.17 : Affectation temps d'intégration et dérivation.....	57
Figure IV.18 : Choix du pupitre.....	57
Figure IV.19 : Vue générale	58
Figure IV.20 : Paramètres PID.....	59
Figure IV.21 : Résultats des courbes de simulation de notre système de pompage.	60

Liste des abréviations

IHM : interface homme machine

API : automates programmable industriels

S.N.V.I : société nationale des véhicules industriels

PC : partie commande

PO : partie opérative

PR : partie relation

PLC: programmable logic Controller

LD: ladder diagram

IL: instruction List

FDB: function block diagram

ST: structured text

SFC : sequential function chart

MPI : interface multipoint

TOR : Tout ou rein

PTC : Thermistances de Température Positives

CPU : central processing unit

IM : coupleur

CP : module communication

FM : modules de fonctions

SM : modules de signaux

SM374 : modules de simulation

EM : étude de mesure

CC : courant continu

CA : courant alternatif

PID : Proportionnel, Intégral, Dérivé

k_p : gain proportionnel

k_i : gain intégrale

k_d : gain dérivé

FC : bloc fonctionnel

OB1 : bloc d'organisation

CMP : bloc de comparaison

MW16 : la valeur en points entre 0 et 27648

LAB : le nom l'étiquette

BF : boucle ferme

MLI : modulation de largeur d'impulsion

RAM : mémoire vive

ROM : mémoire morte

PROM : mémoire morte programmable

EEPROM : mémoire morte programmable effaçable électriquement

PCMCIA : association internationale des cartes mémoire pour ordinateur personnels.

Introduction générale

Introduction générale

Les stations de pompage sont vitales dans le domaine industriel, l'irrigation agricole, l'approvisionnement en eau potable, la distribution de l'eau, la réfrigération des équipements et la prévention des incendies. L'automatisation des processus industriels joue un rôle essentiel dans l'amélioration de l'efficacité, de la sécurité et de la précision des opérations. Parmi ces processus, le pompage de fluides, qu'ils soient liquides ou gazeux, les systèmes de pompage étaient supervisés et contrôlés manuellement, impliquant des interventions humaines fréquentes pour ajuster les paramètres et surveiller les performances. Cependant, avec l'avènement des technologies d'automatisation avancées, il est désormais possible de concevoir des systèmes de pompage autonomes capables de fonctionner avec une intervention humaine minimale.[1]

Le présent mémoire porte sur le développement d'une station d'expérimentation dédiée à l'automatisation et à la surveillance en temps réel d'un système de pompage, en utilisant un automate programmable S7-300. Cette étude vise à démontrer comment l'intégration de l'automatisation peut optimiser les opérations de pompage, réduire les coûts opérationnels, améliorer la fiabilité et la sécurité des systèmes de pompage.

L'objectif principal de ce travail est de concevoir, développer et mettre en œuvre une solution d'automatisation qui permet non seulement de contrôler les pompes de manière efficace mais aussi de surveiller en temps réel les conditions opérationnelles telles que les débits, les pressions et les niveaux de liquide.

A cet effet, notre mémoire est répartie en quatre chapitres et structurée comme suit :

- Le premier chapitre présentera un état de l'art des technologies d'automatisation des systèmes de pompage. Cette revue de la littérature permet de situer notre travail dans le contexte des avancées technologiques actuelles et des pratiques industrielles.
- Le deuxième chapitre sera consacré à une description détaillée des automates programmables, en particulier l'automate programmable S7-300. Ce chapitre explique les caractéristiques techniques, les avantages, et les applications de cet automate, fournissant ainsi une base théorique solide pour le reste du projet.
- Dans le troisième chapitre, nous identifierons et décrirons les composants de notre station d'expérimentation. Ce chapitre détaille la sélection des capteurs, des actionneurs, et des autres dispositifs nécessaires à la mise en œuvre de notre système de pompage automatisé.

- Le quatrième chapitre sera dédié à la programmation, la régulation, et la supervision en temps réel. Nous y expliquons les étapes de configuration et de programmation de l'automate S7-300 à l'aide du logiciel Step7 avec une attention particulière à l'implémentation d'un régulateur PID pour la régulation précise du système. Ce chapitre aborde aussi les techniques de supervision en temps réel en utilisant logiciel WinCC flexible, qui permettent de surveiller et d'ajuster de manière efficace les opérations de pompage.

Ce travail vise à apporter une contribution significative à l'application des technologies d'automatisation dans le domaine des systèmes de pompage, en mettant en évidence les avantages tangibles que peut offrir une telle approche. Nous espérons aussi que cette étude sera un point de référence pour les futurs projets dans ce domaine, en offrant une base solide et des recommandations pratiques pour la mise en place de systèmes similaires.

Chapitre I

I.1. Introduction

Au Moyen Âge, l'apparition des moulins à vent et à eau a permis d'améliorer l'efficacité des stations de pompage. Ces machines étaient capables de pomper de plus grandes quantités d'eau sur de plus grandes distances, la révolution industrielle a marqué un tournant majeur dans l'histoire des stations de pompage. L'invention de la machine à vapeur a permis de construire des stations plus puissantes et plus fiables. La découverte de l'électricité a ensuite ouvert la voie à l'utilisation de pompes électriques, encore plus efficaces et plus économes en énergie. En effet, l'automatisation permet aux systèmes industriels d'atteindre des niveaux supérieurs d'efficacité et de fiabilité, rendant ainsi la gestion des processus plus précise et réactive.

De multiples recherches ont été réalisées sur le développement d'une station d'expérimentation pour l'automatisation et la surveillance en temps réel d'un système de pompage tel que les Travaux publier que nous citons ci-dessous :

Une recherche de 2016 intitulée « **Autonomisation et supervision d'une station de pompage et de distribution d'eau traitée à la SARL IFRI** » [2]A été rédigé par BELKIRI Yacine et BENKRROU Noureddine. Le complexe IFRI d'Ouzellaguen comprend plusieurs unités de production axées sur l'eau, couvrant la commercialisation de l'eau ainsi que la fabrication de diverses boissons gazeuses et non gazeuses. L'unité IFRUIT à Akbou a instauré une nouvelle ligne de production de boissons gazeuses sans conservateurs ni arômes artificiels, qui nécessite une eau potable conforme à des normes strictes.

Pour garantir un bon fonctionnement, et avoir un bon rendement l'eau doit passer avec une certaine pression appelée pression de fonctionnement pour assurer la continuité de production un système de pompage mis en place.

Cette technique vise à automatiser cette station et à créer une interface homme-machine pour la contrôler en temps réel, ce qui facilitera le travail des opérateurs, l'objectif du projet était d'automatiser et de superviser la station de pompage et de distribution d'eau traitée d'IFRUIT, cruciale pour la fabrication de boissons. Après avoir étudié les besoins et les composants, un cahier des charges a été établi afin de garantir la continuité du service, et de garantir la durabilité.

En utilisant AUTOMGEN, la simulation du Grafcet de fonctionnement a été réalisée, puis l'automate Siemens S7-1200 a été sélectionné en raison de ses capacités. La programmation et l'IHM ont été réalisées avec TIA PORTAL V13 en LADDER, ce dernier

ne possède pas de simulateur, on fait appel à, L'automate S7-1500 pour pouvoir simuler le programme élaboré pour cette station.[2]

En 2018, Bachouti Yacer et Bouhoun Slimane Abd Mouhaimen ont publié un article intitulé « **Automatisation et télégestion d'une station de pompage** ».[3]

L'inconvénient avant est que le fonctionnement des stations de pompage était basé surtout sur l'intervention de l'opérateur pour faire démarrer et arrêter les stations et aussi pour détecter tous les défauts dans ces dernières, cela entraîne à chaque fois des pertes de temps considérables et des perturbations dans l'approvisionnement en eau potable pour les citoyens, en raison de la distance significative entre la station de pompage et le château d'eau, deux opérateurs étaient nécessaires à l'époque (un à la station et l'autre au château), utilisant des moyens de communication souvent perturbés tels que la radio et le téléphone pour échanger des données de pompage (niveau, état des pompes, demande de pompage).

Le projet vise à moderniser une station de pompage d'eau potable en intégrant des automates SIEMENS S7-1200, passant ainsi d'une logique câblée à une logique programmée, il inclut aussi l'installation de routeurs 4G pour faciliter la communication entre le château d'eau et la station, l'établissement de deux modes de fonctionnement (manuels et automatiques) via le logiciel TIA PORTAL V13, et la création d'une application de supervision avec SIMATIC WINCC Professionnel pour gérer en temps réel l'installation automatisée depuis l'interface homme-machine TP-700 CONFORT.[3]

Un article intitulé « **Étude et automatisation d'une station de pompage à eau potable** » a été publié en 2018 par AROUIL Lamine et BESSAA Youssef.[4] L'eau est vitale pour la vie sur Terre, indispensable à tous les êtres vivants. Depuis l'antiquité, l'eau a été au cœur des activités humaines dans de nombreux domaines. Pour simplifier son utilisation, l'homme a élaboré des moyens comme les stations de pompage pour une distribution efficace et continue de l'eau. Initialement contrôlées par une logique câblée, ces stations ont évolué vers une logique programmée grâce aux automates programmables industriels, améliorant ainsi la maintenance, l'intervention et assurant une meilleure continuité dans la distribution de l'eau.

Le projet a été réalisé dans le but d'automatiser une station de pompage d'eau potable. La gestion des spécifications pour développer un programme automatisé, le dimensionnement des composants électriques et le choix des dispositifs de protection ont été pris en compte lors de l'analyse du fonctionnement des équipements. En assimilant les principes fondamentaux des systèmes de contrôle et d'automatisation, un programme a été

créé pour gérer la station de pompage via un automate programmable S7-300 et une supervision du processus par un pupitre opérateur à l'aide de IHM de Step7.[4]

En 2019, HAMITOUCHE Nazim et AZIRI Yacine ont publié un article intitulé « **Automatisation d'un système hybride d'alimentation d'une station de Pompage** ».[5] la question centrale de ce projet est de déterminer la manière de concevoir et d'implémenter un système hybride de production d'énergie renouvelable afin de fournir de l'énergie à une station de pompage située dans un lieu isolé, assurant ainsi un approvisionnement constant et sûr en eau potable pour les habitants.

Ce système doit être capable de surmonter les contraintes de production non continues, de puissance variable et non garantie inhérente aux sources d'énergie renouvelables, et doit être géré et contrôlé par des automates programmables industriels (API) pour assurer un rendement élevé et une maintenance rapide. Le projet inclut également l'analyse et le dimensionnement de la station de pompage, des divers générateurs d'énergie renouvelable, ainsi que l'automatisation et la surveillance de la gestion du système.

Ce projet met en évidence l'importance des énergies renouvelables pour l'électrification des zones isolées en mettant l'accent sur l'efficacité des stations de pompage hybrides à énergies renouvelables. Ces systèmes combinant photovoltaïques et éoliennes offrent une solution durable pour l'approvisionnement en eau. L'utilisation de piles à combustible en cas de manque d'énergie solaire ou éolienne est préconisée pour garantir un fonctionnement continu. Le dimensionnement de la station de pompage doit prendre en compte les besoins en eau, le débit et la hauteur manométriques. Les automates programmables industriels sont recommandés pour l'automatisation et la supervision des stations, offrant fiabilité et résistance environnementale.

En perspective, l'utilisation d'électrolyseurs pour produire de l'hydrogène sur site et l'adoption d'automates compacts pour réduire les coûts sont suggérées pour améliorer l'efficacité et la rentabilité des systèmes de pompage hybrides.[5]

Dans un article de 2018 rédigé par SAIDOUN Abdsamed et ZABOT Taous, intitulé « **Automatisation et supervision d'une station de pompage et de distribution d'eau à la S.N.V.I** ».[6] il est souligné que la production de vapeur, le refroidissement des équipements et la protection contre les incendies sont essentiels pour une production ininterrompue. C'est pourquoi l'eau doit être préservée, conservée et gérée avec soin en toutes circonstances. La SNVI a équipé son château d'eau d'un système d'automatisation. Toutefois, cette

automatisation est devenue obsolète en raison de divers problèmes posés par l'automate TSX Premium, notamment son obsolescence et ses dysfonctionnements.

Pour remédier à cette situation, ils ont été chargés de remplacer l'automate TSX Premium par l'automate S7-300. Afin de mener à bien ce travail, ils ont aussi apporté plusieurs améliorations à cette installation, remplacé une partie du processus qui était en logique câblée en logique programmée, réintégré certaines fonctions qui ont été supprimées auparavant.[6]

I.2. Techniques de développement des stations de pompages

Les stations de pompage sont des installations essentielles pour la gestion des eaux usées et des eaux pluviales. Elles permettent de collecter, de traiter et de réinjecter les eaux dans les réseaux d'irrigation, les cours d'eau et les océans.

Dans ce qui suit nous allons explorer les principaux développements et innovations dans le domaine des stations de pompage.

I.2.1. Conception et Fonctionnement

Les stations de pompage sont composées de plusieurs éléments clés, notamment les pompes, les vannes, les clapets anti-retours, la tuyauterie et les chaudrons anti-béliers. La conception d'une station de pompage nécessite une étude approfondie de plusieurs facteurs, tels que la nature de l'effluent à relever, le débit moyen et de pointe, la présence d'agents corrosifs et la hauteur géométrique de relèvement.[7]

I.2.2. Évolution des Technologies

Les stations de pompage ont évolué considérablement au fil des ans. Les pompes à vitesse variable, par exemple, permettent d'adapter les variations de débits et de hauteur de chute, ce qui maximise le rendement et réduit les coûts d'énergie. Les stations de pompage marines, quant à elles, offrent une solution plus économique et plus durable pour les zones côtières.[8]

I.2.3. Gestion et Maintenance

La gestion et la maintenance des stations de pompage sont essentielles pour assurer leur fonctionnement optimal. Les pompes doivent être régulièrement entretenues et réparées pour éviter les pannes et les défaillances. Les stations de pompage doivent également être conçues pour faciliter l'accès aux équipements et les travaux de maintenance Énergie et Économie.[7]

Les stations de pompage consomment une grande quantité d'énergie électrique. Pour réduire les coûts et les impacts environnementaux, les stations de pompage doivent être conçues pour maximiser l'efficacité énergétique. Les pompes à vitesse variable et les stations de pompage marines sont des exemples de solutions plus économiques et plus durables.[8]

I.2.4.Évolution de la Formation

Les formations sur la conception et la gestion des stations de pompage sont essentielles pour les professionnels de l'industrie. Les formations en ligne et en présentiel offrent des cours pratiques et des exercices pour aider les participants à acquérir les compétences nécessaires pour concevoir et gérer des stations de pompage.

I.2.5.Évolution de l'Instrumentation

Les stations de pompage nécessitent des instruments de surveillance pour assurer leur fonctionnement optimal. Les outils de supervision permettent de surveiller les paramètres tels que la pression, le débit et la température. Les stations de pompage doivent être équipées de systèmes de surveillance pour détecter les anomalies et les défaillances.[9]

Intégration des technologies intelligentes

Analytiques prédictives et capteurs avancés, ces avancées joueront un rôle important dans l'évolution des systèmes de pompage, améliorant l'efficacité et prolongeant la durée de vie des stations de pompage en réduisant la nécessité de remplacements et de réparations fréquentes.

I.2.6.Durabilité et énergie renouvelable

Stations de pompage alimentées par l'énergie solaire et éolienne : ces sources d'énergie renouvelables réduisent les empreintes carbone et offrent des solutions durables pour les zones isolées. L'intégration d'énergie renouvelable dans la conception des stations de pompage est une tendance croissante.

I.2.7.Matériaux et conception avancés

Alliages résistants à la corrosion et matériaux composites : les chercheurs explorent de nouveaux matériaux plus durables, efficaces et respectueux de l'environnement. Ces avancées pourraient conduire à des pompes plus légères, plus efficaces et ayant une durée de vie plus longue.

I.3. Défis et directions futures

I.3.1.Changement climatique et urbanisation

Les stations de pompage doivent faire face à de nombreux défis dus au changement climatique et à l'urbanisation rapide. Elles doivent être conçues pour être plus résilientes et adaptables aux conditions changeantes, telles que les événements météorologiques extrêmes et les changements dans les patterns de précipitation.[10] [11]

I.3.2.Pompes immergées et contrôleurs électroniques

Les pompes immergées ont révolutionné l'industrie en permettant des solutions plus flexibles et efficaces pour la gestion de l'eau. Les contrôleurs électroniques ont amélioré l'efficacité et les capacités de surveillance des stations de pompage, rendant-elles essentielles pour les systèmes modernes.

I.4. Pompes solaires dans les systèmes de gestion de l'eau

Les pompes solaires fonctionnent de manière autonome et ne requièrent pas de connexions électriques, ce qui les rend parfaites pour les zones isolées. De plus, les pompes solaires ou non raccordées au réseau électrique sont moins chères à utiliser que les pompes traditionnelles, car la lumière solaire est gratuite. Cela implique une diminution des dépenses opérationnelles, ce qui revêt une importance particulière pour les régions où les ressources sont restreintes, une réduction des émissions de carbone, ce qui les rend respectueuses de l'environnement et contribue à la lutte contre le changement climatique.[12][13]



Figure I.1 : Pompe solaire [14]

Ces avancées en technologie, conception et durabilité transforment l'industrie des stations de pompage d'eau, permettant des solutions plus efficaces, résilientes et respectueuses de l'environnement pour la gestion de l'eau.

I.5. Exemples de projets des stations de pompages

Nous citons quelques projets des stations de pompage les plus ambitieux au monde actuellement en cours de réalisation, chacun d'eux étant caractérisé par une innovation technologique majeure.

I.5.1. Le projet de pompage de l'eau du Lac Nasser

Ce projet, mené par le gouvernement égyptien, vise à extraire de l'eau du Lac Nasser pour irriguer des zones agricoles. Il utilise 24 groupes motopompes avec variateurs à vitesse variable, pour une capacité totale de 288 MW et un débit de 21 m³/s.[15] la figure ci-dessous représente le projet du lac Nasser.



Figure I.2: Projet lac Nasser [15]

I.5.2. Le projet de rénovation des stations de pompage de la métropole de Lyon

Ce projet, mené par ABB et PEME-GOURDIN, vise à optimiser l'efficacité énergétique des stations de pompage de la métropole de Lyon. Il consiste à reconfigurer les stations de pompage pour intégrer de nouveaux moteurs à haut rendement et à ajuster les paramètres pour optimiser la consommation d'énergie.[16]

La figure ci-dessous représente la station de pompage de métropole de Lyon.



Figure I.3 : Projet de rénovation de la station de pompage de la métropole de Lyon.[16]

I.5.3. Le projet de construction de stations de pompage STEP

Ce projet, mené par des entreprises telles que Grundfos, vise à construire des stations de pompage STEP (Station de Pompage Électrique) pour stocker de l'énergie électrique. Les STEP sont des installations qui permettent de stocker de l'énergie électrique pour la réutilisation ultérieure. Le projet vise à atteindre une puissance installée de 1500 MW.[17] la figure ci-dessous représente le projet de construction de stations de pompage STEP.

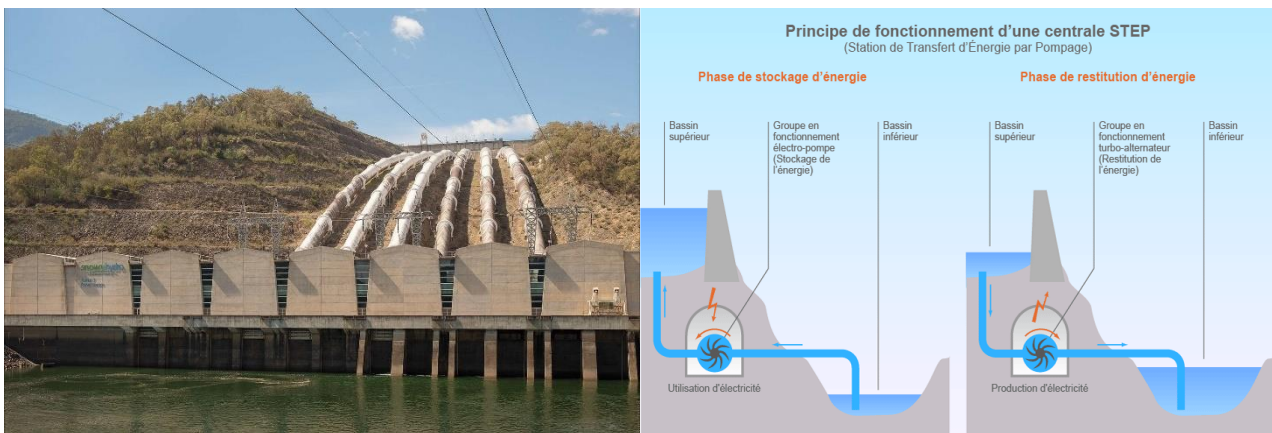


Figure I.4 : Projet de construction de stations de pompage STEP [17]

I.5.4. Le projet de construction de stations de pompage marines

Ce projet, mené par des entreprises telles que Flygt, vise à construire des stations de pompage marines pour collecter et traiter les eaux usées et pluviales. Les stations de pompage marines sont des installations qui permettent de collecter et de traiter les eaux usées et pluviales dans des zones côtières.[18]

La figure ci-dessous représente le projet de construction de stations de pompage marines.



Figure I.5 : Projet de construction de stations de pompage marines [18]

Ces projets montrent l'importance de la gestion efficace des stations de pompage pour répondre aux besoins de l'industrie et de la population.

I.6. Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons examiné les travaux qui ont été réalisées dans le domaine des stations de pompages, en mettant en avant les technologies de pointe et les évolutions des installations. L'intégration de l'automatisation, des capteurs intelligents et des pompes solaires a nettement amélioré l'efficacité et la durabilité de ces stations.

Dans le chapitre qui suit nous étudierons les automates programmables industriels qui sont des éléments très importants de cette progression, ces équipements jouent un rôle essentiel dans la programmation et la supervision des processus, ce qui permet d'améliorer d'avantage des stations de pompages.

Chapitre II

II.1. Introduction

Les automates programmables sont parus aux USA vers 1969 grâce à MODICON qui créa le premier automate programmable. Son succès donna naissance à une industrie mondiale qui s'est considérablement développée depuis.

De ce fait plusieurs constructeurs sont apparus sur le marché (SIEMENS, SCHNEIDER, TOSHIBA, etc.) Produisant différentes variétés d'automates qui utilisent des langages de programmation différents.

Aujourd'hui, l'API est le constituant le plus répondu pour réaliser des automatismes. On le trouve dans tous les secteurs de l'industrie, car il répond à tous les besoins d'adaptation et de flexibilité pour un grand nombre d'opérations. Cette émergence est due en grande partie, à la puissance de son environnement de développement et aux larges possibilités d'interconnexions.

L'automatisation de n'importe quel processus a pour but de rendre le système plus rapide, fiable et peut agir devant n'importe quel type de contraintes ou de problème aléatoire.

L'automatisation consiste à rendre automatique les opérations qui exigeaient auparavant l'intervention humaine.

Dans notre travail demandé nous avons opté pour la gamme SIMATIC S7 de la firme allemande SIEMENS, dont on trouve l'automate programmable SIMATIC S7-300, vu ses performances d'optimalités dans la résolution des problèmes et les diverses possibilités de communication ainsi celles de flexibilité qu'il offre; et on a utilisé pour la programmation le SIMATIC Manager Step7 de Siemens qui représente parmi la nouvelle génération de logiciels d'automatisation se satisfaisant d'un seul environnement, un seul logiciel pour toutes les taches d'automatisation.

II.2. L'automatisme

L'automatisme est la discipline traitant d'une part la caractérisation des systèmes automatisés et d'autre part le choix de la conception et de la réalisation de la partie commande. Il s'agit donc d'étudier les systèmes :

- Réalisant leurs fonctions en relative autonomie.
- Assurant un contrôle des performances par la mise en place possible d'une chaîne de retour.

- L'automatisation de la production consiste à transférer tout ou une partie des tâches de coordination, auparavant exécutés humains.

II.3. Objectif de l'automatisation

Hors les objectifs à caractères financiers on trouve :

- Éliminer les tâches répétitives ;
- Simplifier le travail de l'humain ;
- Augmenter la sécurité ;
- Accroître la productivité ;
- Économiser les matières premières et l'énergie ;
- S'adapter à des contextes particuliers ;
- Maintenir la qualité.

II.4. Systèmes automatisés

Un système automatisé est toujours composé d'une partie commande (PC), et d'une partie opérative (PO), pour faire fonctionner ce système, l'opérateur va donner des consignes à la partie (PC), celle-ci va traduire ces consignes en ordres qui vont être exécutés par la (PO).

Une fois les ordres accomplis, la PO va le signaler à la PC (compte -rendu) qui va à son tour le signaler à l'opérateur, ce dernier pourra donc dire que le travail a bien été réalisé.

La figure ci-dessous représente la structure d'un système automatisés.

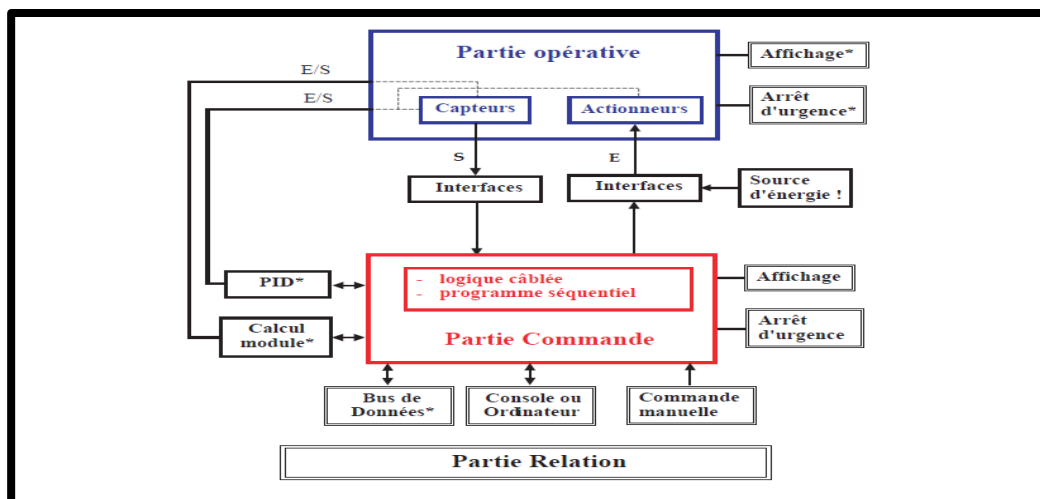


Figure II.1 : Structure d'un système automatisé. [19]

II.4.1.La partie opérative (PO)

C'est la partie qui gère le fonctionnement du système automatisé, elle est générale composée d'un ordinateur qui contient dans ses mémoires un programme. Elle transmet les ordres aux actionneurs de la partie opérative à partir :

- Du programme qu'elle contient.
- Des informations reçues par les captures.
- Des consignes données par l'utilisateur ou par l'opérateur.

II.4.2.La partie commande (PC)

Ce secteur de l'automatisme gère selon une suite logique le déroulement ordonné des opérations à réaliser. Il reçoit des informations en provenance des capteurs de la Partie Opérative, et les restitue vers cette même Partie en direction des pré-actionneurs et actionneurs. Elle comporte en générale un boîtier (appelé aussi bâti) contenant :

- Des actionneurs (transformant l'énergie reçu en énergie utile : moteur, vérin, lampe).
- Des capteurs (transforment la variation des grandeurs physiques liée au fonctionnement de l'automatisme en signaux électriques : capteur de position, de température, bouton poussoir).

II.4.3.La partie relation (PR)

Sa complexité dépend de l'importance du système. Elle regroupe les différentes commandes nécessaires au bon fonctionnement du procédé, c'est à dire marche/arrêt, arrêt d'urgence, marche automatique, etc. L'outil de description s'appelle le Guide d'Études des Modes de Marches et d'Arrêts (GEMMA). Les outils graphiques, que sont le GRAFCET et le GEMMA, sont utilisés par les automaticiens et les techniciens de maintenance. [19]

II.5. Historique Des automates programmables

Les Automates Programmables Industriels (API) sont apparus aux Etats-Unis vers la fin des années soixante, à la demande de l'industrie automobile américaine (General Motors) qui réclamait plus d'adaptabilité de leurs systèmes de commande.

Les ingénieurs américains ont résolu le problème en créant un nouveau type de produit nommée automates programmables. Ils n'étaient rentables que pour des installations d'une certaine complexité, mais la situation a très vite changé, ce qui a rendu les systèmes câblés obsolètes. De nombreux modèles d'automates sont aujourd'hui disponibles ; depuis les nano automates bien adaptés aux machines et aux installations simples avec un petit nombre d'entrées/sorties, jusqu'aux automates multifonctions capables de gérer plusieurs milliers d'entrées/sorties et destinés au pilotage de processus complexes.

II.6. Définition de l'Automate programmable

De nos jours, les constructions de commande et les ingénieurs automaticiens n'ignorent plus rien des automates programmables ou (Programmable Logic Controller PLC). Pour de nombreux problèmes de commande, il convient donc de déterminer le mode de commande le mieux approprié et à cet égard, le choix se porte de plus en plus sur l'automate programmable.

Il s'agit d'ailleurs non seulement d'une question de prix, mais bien d'avantage de gain de temps, de souplesse accrue dans la manipulation, de haute fiabilité, de localisation et d'élimination rapide des erreurs simultanément. Le produit final c'est-à-dire la machine ou l'installation équipée d'un tel automate atteint un niveau technique plus élevé.

II.7. Mise en œuvre d'un automate

La mise en œuvre de tout système automatisé implique une série de tâches qui constitue

Autant d'étapes successives naturellement indépendantes :

- L'étude préalable,
- L'étude proprement dite et préparation,
- Fabrication et essais,
- Mise en route et exploitation.

II.8. Programmation des automates

Pour programmer l'automate, l'automaticien peut utiliser :

- Une console de programmation ayant pour avantage portabilité.
- Un PC avec lequel la programmation est plus conviviale, communiquant avec l'automate par le biais d'une liaison série RS232 ou d'un réseau de terrain

II.9. Critères de choix d'un automate

Le choix d'un automate programmable est en premier lieu le choix d'une société ou d'un groupe et les contacts commerciaux et expériences vécues sont déjà un point de départ.

Les grandes sociétés privilégieront deux fabricants pour faire jouer la concurrence et pouvoir se retourner en cas de perte de vitesse de l'une d'entre elles.

Le personnel de maintenance doit toutefois être formé sur ces matériels et une trop grande diversité des matériels peut avoir de graves répercussions.

Un automate utilisant des langages de programmation de type GRAFCET est également préférable pour assurer les mises au point et dépannages dans les meilleures conditions.

L'utilisation d'un logiciel de programmation permet de réaliser des économies, notamment en évitant l'achat de licences coûteuses et en réduisant les coûts de formation du personnel. De plus, l'intégration d'outils de simulation dans le processus de développement est également recommandée.

Il faut ensuite quantifier les besoins :

- **Nombre d'entrées / sorties** : le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées / sorties nécessaires devient élevé.
- **Type de processeur** : la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- **Fonctions ou modules spéciaux** : certaines cartes (commande d'axe, pesage...) permettront de soulager le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, ...).
- **Fonctions de communication** : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision ...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus ...).

II.10. Traitement du programme automate

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire :

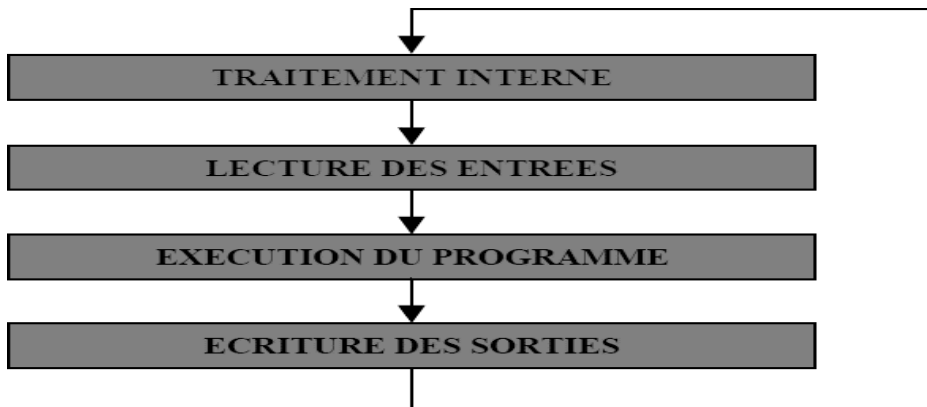


Figure II.2 : Fonctionnement cyclique d'un automate.[19]

- **Traitement interne** : L'automate effectue des opérations de contrôle et met à jour certains paramètres systèmes (détection des passages en RUN / STOP, mises à jour des valeurs de l'horodateur, ...).
- **Lecture des entrées** : L'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie dans la mémoire image des entrées.
- **Exécution du programme** : L'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans la mémoire image des sorties.
- **Écriture des sorties** : L'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties.
- Ces quatre opérations sont effectuées continuellement par l'automate (fonctionnement cyclique). [19]

II.11. Langage de programmation pour API

Les programmes utilisés avec les API peuvent être écrits dans différents formats, Pour que les ingénieurs ayant peu de connaissances en programmation puissent élaborer des programmes pour les API, le langage à contacts a été conçu. La plupart des fabricants d'automates ont adopté cette méthode d'écriture des programmes.

Toutefois, puisque chacun a eu tendance à développer ses propres versions, une norme internationale a été établie pour le langage à contacts et, par voie de conséquence, pour toutes les méthodes de programmation employées avec les API. La norme IEC 1131-3 définit cinq

langages qui peuvent être utilisés pour la programmation des automates programmables industriels. Ces cinq langages sont :

II.11.1.Le langage LD (Ladder Diagram)

C'est une représentation graphique d'équations booléennes combinant des contacts (en entrée) et des relais (en sortie). Il permet la manipulation de données booléennes, à l'aide de symboles graphiques organisés dans un diagramme comme les éléments d'un schéma électrique à contacts. Les diagrammes LD sont limités à gauche et à droite par des barres d'alimentation.[20]

II.11.2.Le langage IL (Instruction List)

Un langage textuel de bas niveau. Il est particulièrement adapté aux applications de petite taille. Les instructions opèrent toujours sur un résultat courant (ou registre IL). L'opérateur indique le type d'opération à effectuer entre le résultat courant et l'opérande. Le résultat de l'opération est stocké à son tour dans le résultat courant.

Un programme IL est une liste d'instructions. Chaque instruction doit commencer par une nouvelle ligne, et doit contenir un opérateur, complété éventuellement par des modificateurs et, si c'est nécessaire pour l'opération, un ou plusieurs opérandes, séparés par des virgules (','). Une étiquette suivie de deux points (':') peut précéder l'instruction. Si un commentaire est attaché à l'instruction, il doit être le dernier élément de la ligne. Des lignes vides peuvent être insérées entre des instructions. Un commentaire peut être posé sur une ligne sans instruction.[21]

II.11.3.Le langage FBD (Function Block Diagram)

C'est un langage graphique. Il permet la construction d'équations complexes à partir des opérateurs standards, de fonctions ou de blocs fonctionnels.

Les principales fonctions sont :

- L'énoncé RETURN (peut apparaître comme une sortie du diagramme, si liaison connectée prend l'état booléen TRUE, la fin du diagramme n'est pas interprétée.
- Les étiquettes et les sauts conditionnels sont utilisés pour contrôler l'exécution du diagramme. Aucune connexion ne peut être réalisée à droite d'un symbole d'étiquette ou de saut.
- Saut à une étiquette (le nom de l'étiquette est « LAB »).

II.11.4. Le langage ST (Structured Text)

Un langage textuel de haut niveau dédié aux applications d'automatisation. Ce langage est principalement utilisé pour décrire les procédures complexes, difficilement modélisables avec les langages graphiques. C'est le langage par défaut pour la programmation des actions dans les étapes et des conditions associées aux transitions du langage SFC.

Un programme ST est une suite d'énoncés. Chaque énoncé est terminé par un point-virgule (« ; »). Les noms utilisés dans le code source (identificateurs de variables, constantes, mots clés du langage...) sont délimités par des séparateurs passifs ou des séparateurs actifs, qui ont un rôle d'opérateur. Des commentaires peuvent être librement insérés dans la programmation.

II.11.5. Le langage SFC (Sequential Function Chart), ou GRAFCET

C'est un langage graphique utilisé pour décrire les opérations séquentielles.

Le procédé est représenté comme une suite connue d'étapes (états stables), reliées entre elles par des transitions, une condition booléenne est attachée à chaque transition. Les actions dans les étapes sont décrites avec les langages ST, IL, LD ou FBD.

Les principales règles graphiques sont :

- Un programme SFC doit contenir au moins une étape initiale.
- Une étape ne peut pas être suivie d'une autre étape.
- Une transition ne peut pas être suivie d'une autre transition.

L'automate utilisé dans notre projet appartient à la gamme SIMATIC S7 de SIEMENS

Le S7-300 « CPU 315-2 PN/DP », qui est un automate modulaire pour les applications d'entrée et de milieu de gamme, avec possibilité d'extensions jusqu'à 32 modules, et une mise en réseau par l'interface multipoint (MPI), Profibus et industriel Ethernet.

II.12. Les avantages et les inconvénients de l'automatisation

- **Les avantages**
 - La capacité de production accélérée.
 - L'aptitude à convenir à tous les milieux de production.
 - La souplesse d'utilisation.
 - La création de postes d'automaticiens.

- **Les inconvénients**

- Le coût élevé du matériel, principalement avec les systèmes hydrauliques.
- La maintenance doit être structurée.
- La suppression d'emplois.

II.13. Domaines d'application des systèmes automatisés

Aujourd'hui, il serait difficile de concevoir un système de production sans avoir recours aux différentes technologies et composants qui forment les systèmes automatisés.

- Automobile
- Aviation
- Industrie
- Médical
- Transport

II.14. Caractéristiques d'un automatisme

Les automatismes sont des dispositifs qui permettent à des machines ou des installations de fonctionner automatiquement.

Un automatisme bien conçu :

- Simplifie considérablement le travail de l'homme qui, libéré vis-à-vis de la machine, peut se consacrer à des activités plus nobles.
- Réduit les tâches complexes, pénibles ou indésirables en les faisant exécuter par la machine.
- Facilite les changements de fabrication en permettant de passer d'une quantité ou d'un type de production à un autre.
- Améliore la qualité des produits en asservissant la machine à des critères de fabrication et à des tolérances qui seront respectées dans le temps.
- Accroît la production ainsi que la productivité.
- Permet de réaliser des économies de matière et d'énergie.
- Augmente la sécurité du personnel.
- Contrôle et protège les installations et les machines.

II.15. Structure interne des automates programmables

La structure matérielle interne d'un API obéit au schéma ci-dessous

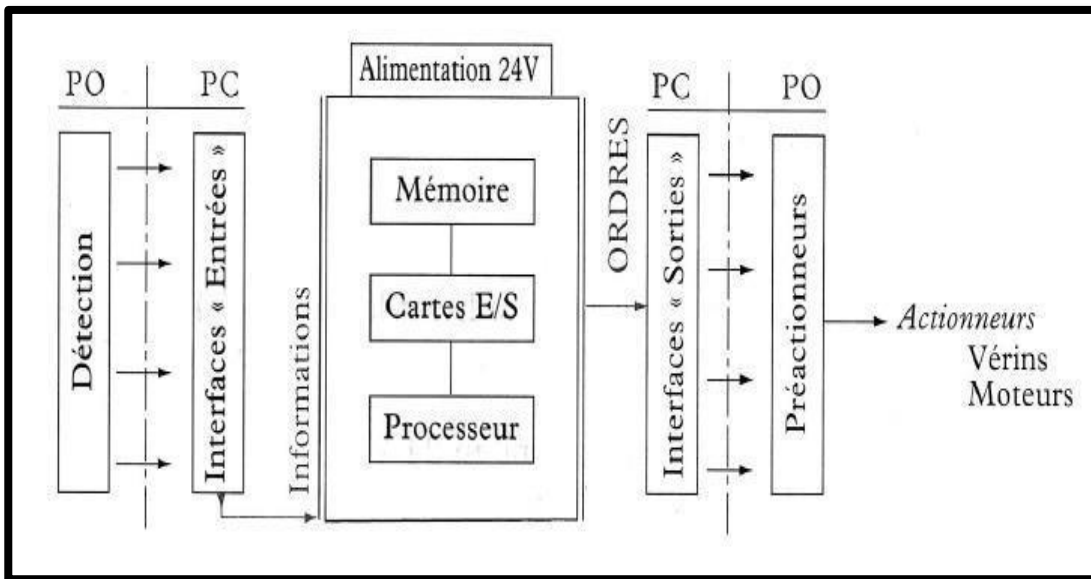


Figure II.3: Structure interne d'un API

Détaillons successivement chacun des composants qui apparaissent sur ce schéma.

II.15.1. Le processeur

Le processeur a pour rôle principal le traitement des instructions qui constituent le Programme de fonctionnement de l'application. Mais en dehors de cette tâche de base, il réalise également d'autres fonctions :

- Gestion des entrées/sorties.
- Surveillance et diagnostic de l'automate par une série de tests lancés à la mise sous tension ou cycliquement en cours de fonctionnement.
- Dialogue avec le terminal de programmation aussi bien pour l'écriture et la mise au point du programme qu'en cours d'exploitation pour des réglages ou des vérifications de données.

Le processeur est organisé autour d'un certain nombre de registres, ce sont des mémoires rapides permettant la manipulation des informations qu'elles retiennent, ou leur combinaison avec des informations extérieures.

Les principaux registres existants dans un processeur sont :

- **L'accumulateur** : C'est le registre où s'effectuent les opérations du jeu d'instruction, les résultats sont contenus dans ce registre spécial.
- **Le registre d'instruction** : Il reçoit l'instruction à exécuter et décode le code opération. Cette instruction est désignée par le pointeur.
- **Le registre d'adresse** : Ce registre reçoit, parallèlement au registre d'instruction, la partie opérande de l'instruction. Il désigne le chemin par lequel circulera l'information lorsque le registre d'instruction validera le sens et ordonnera le transfert.
- **Le registre d'état** : C'est un ensemble de positions binaires décrivant, à chaque instant, la situation dans laquelle se trouve précisément la machine.
- **Les piles** : Une organisation spéciale de registres constitue une pile, ces mémoires sont utilisées pour contenir le résultat de chaque instruction après son exécution. Ce résultat sera utilisé ensuite par d'autres instructions, et cela pour faire place à la nouvelle information dans l'accumulateur.[22]

II.15.2. Les mémoires

Un système de processeur est accompagné par un ou plusieurs types de mémoires. Elles permettent :

De stocker le système d'exploitation dans des ROM ou PROM,

Le programme dans des EEPROM,

Les données système lors du fonctionnement dans des RAM. Cette dernière est généralement secourue par pile ou batterie. On peut, en règle générale, augmenter la capacité mémoire par adjonction de barrettes mémoires type PCMCIA.

II.15.3. Les modules entrées/sorties

Ils assurent le rôle d'interface entre la CPU et le processus, en récupérant les informations sur l'état de ce dernier et en coordonnant les actions.

Plusieurs types de modules sont disponibles sur le marché selon l'utilisation souhaitée :

- **Modules TOR (Tout Ou Rien)** : l'information traitée ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1 ...). C'est le type d'information délivrée par une cellule photoélectrique, un bouton poussoir ...etc.

- **Modules analogiques** : l'information traitée est continue et prend une valeur qui évolue dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (débitmètre, capteur de niveau, thermomètre...etc.).
- **Modules spécialisés** : l'information traitée est contenue dans des mots codes sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent.

II.15.4.L'alimentation

Elle a pour rôle de fournir les tensions continues nécessaires aux composants avec de bonnes performances, notamment face aux microcoupures du réseau électrique qui constitue la source d'énergie principale. La tension d'alimentation peut être de 5V, 12V ou 24V.

D'autres alimentations peuvent être nécessaires pour les châssis d'extension et pour les modules entrées/sorties. Un onduleur est nécessaire pour éviter les risques de coupures non tolérées.

II.15.5.Liaisons de communication

Elles Permettent la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et des éventuelles extensions. Les liaisons s'effectuent :

- Avec l'extérieur par des borniers sur lesquels arrivent des câbles transportant les signaux électriques.
- Avec l'intérieur par des bus reliant divers éléments, afin d'échanger des données, des états et des adresses.

II.16. Présentation de l'automate S7 – 300

L'automate programmable industriel S7 – 300 fabriqué par SIEMENS, qui fait partie de la gamme SIMATIC S7 est un automate destiné à des tâches d'automatisation moyennes et hautes gammes.

L'automate lui-même est constitué d'une configuration minimale composée d'un module d'alimentation, de la CPU, du coupleur et de modules d'entrées/sortie.

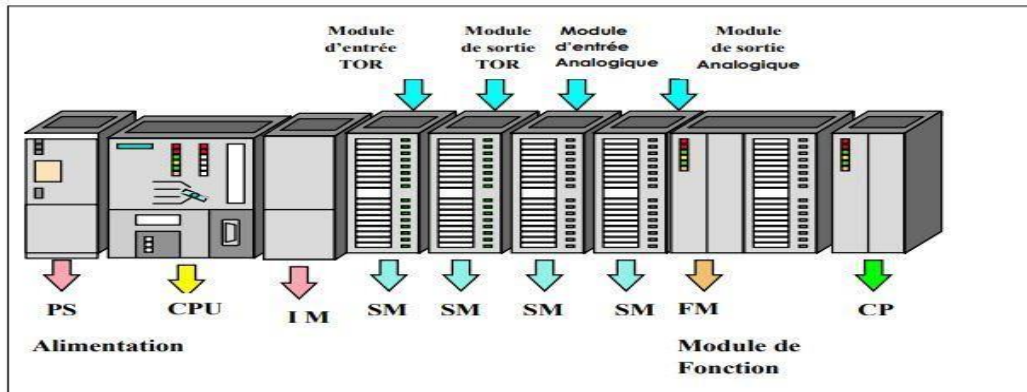


Figure II.4 : Automate programmable S7 – 300

II.16.1.Modularité

Le S7 – 300 est de conception modulaire, une vaste gamme de module est disponible. Ces modules peuvent être combinés selon les besoins lors de la conception d'une solution d'automatisation, Les types des modules sont les suivants :

- Modules d'alimentations (PS).
- Unité centrale (CPU).
- Coupleurs (IM).
- Processeurs de communication (CP).
- Modules de fonctionnements (FM).
- Modules de signaux (SM).
- Modules de simulation (SM 374).

Les profilés supports ou les châssis (rack) constituent des éléments mécaniques de base de la

SIMATIC S7 – 300, ils remplissent les fonctions suivantes :

- La fixation des modules ou l'assemblage mécanique des modules.
- La distribution de la tension.
- L'acheminement du bus de fond de panier aux différents modules.

Dans le S7 – 300 les modules sont fixés dans l'ordre et leurs nombres sont limité

C'est-à-dire que le profilé support dans le S7 – 300 contient au maximum 11 emplacements.



*Figure II.5:*Automate S7-300

II.16.2.Module d'alimentation

Le module d'alimentation assure la conversion de tension du secteur (ou du réseau) en tension de (24V, 48V, 120V ou 230V) pour l'alimentation de l'automate et des capteurs et actionneurs.

- Il remplit aussi des fonctions de surveillance et signalisation à l'aide des LEDS.
- Il permet de sauvegarder le contenu des mémoires RAM au moyen d'une pile de sauvegarde ou d'une alimentation externe.

II.16.3.Unités centrales (CPU)

La CPU est le cerveau de l'automate elle permet de

- Lire les états des signaux d'entrées.
- Exécuter le programme utilisateur et commander les sorties.
- Régler le comportement au démarrage et diagnostiquer les défauts par les LEDS
- Le S7 – 300 dispose d'une large gamme de CPU à différents niveaux de performance, on compte les versions suivantes :
- CPU à utilisateur standard : CPU 313, CPU 314, CPU 315 et CPU 316.
- CPU avec fonctions intégrées : CPU 312 IFM et la CPU 314 IFM
- CPU avec interface PROFILBUS DP (CPU 315 – 2 DP, CPU 316 – 2 DP CPU 318 – 2 DP)

II.16.4.Coupleur (IM)

Les coupleurs sont des cartes électroniques qui assurent la communication entre les E/S (périphéries ou autre) et l'unité centrale. L'échange de l'information entre la CPU et les modules d'E/S s'effectue par l'intermédiaire d'un bus interne (liaison parallèle codée). Les coupleurs ont pour rôle le raccordement d'un ou plusieurs châssis au châssis de base. Pour l'API S7 – 300, les coupleurs disponibles sont :

- IM 365 : Pour les couplages entre les châssis d'un mètre de distance au max.
- IM 360 et IM 361 : pour les couplages allant jusqu'à 10 mètres de distances.

II.16.5.Module communication (CP)

Les modules de communication sont destinés aux tâches de communication par transmission en série. Ils permettent d'établir également des liaisons point à point avec :

- Des commandes robots.
- Communication avec des pupitres opérateurs.
- Des automates SIMATIC S7, SIMATIC S5 et des automates d'autres constructeurs.

II.16.6.Modules de fonctions (FM)

Ces modules réduisent la charge de traitement de la CPU en assurant des tâches lourdes de calculs. On peut citer les modules suivants :

- FM 354 et FM 357 : Module de commande d'axe pour servomoteur.
- FM 353 : Module de positionnement pour moteur pas à pas.
- FM 355 : Module de régulation.
- FM 350 – 1 et FM 350 – 2 : Module de comptage.

II.16.7.Modules de signaux (SM)

Ils servent d'interface entre le processus et l'automate. Ils existent des modules d'entrées/sorties TOR, ainsi que des modules d'entrées/sorties analogiques.

II.16.8.Modules de simulation (SM 374)

Le module de simulation SM 374 est un module spécial qui offre à l'utilisateur la possibilité de tester son programme lors de la mise en service en cours de fonctionnement.

Dans le S7 – 300, ce module se monte à la place d'un module d'entrée ou de sortie TOR. Il assure plusieurs fonctions telles que :

- La simulation des signaux de capteurs aux moyens d'interrupteurs.
- La signalisation d'état des signaux de sorties par des LEDS.

II.17. Caractéristiques techniques

Le S7-300 offre une gamme échelonnée de 24 CPU ; des CPUs standard parmi lesquelles la première CPU avec interface Ethernet/PROFINet intégrée, des CPUs de sécurité, des CPU compactes avec fonctions technologiques et périphérie intégrées et CPU technologiques pour la gestion des fonctions motion control.

Le S7-300 offre également une très large palette de modules d'E/S TOR et analogiques pour la quasi-totalité des signaux avec possibilité de traitement des interruptions et du diagnostic.

A disposition également des modules pour emploi dans des zones à atmosphère explosive, des modules de fonction technologique comme par ex. régulation et came électronique et des modules de communication point à point ou par bus ASi, Profibus ou Industriel Ethernet.

Sa simplicité de montage et sa grande densité d'implantation avec des modules au modulo 32 permettent un gain de place appréciable dans les armoires électriques.[21]

II.18. Avantages

Une construction compacte et modulaire, libre de contraintes de configuration.

Une riche gamme de modules adaptés à tous les besoins du marché est utilisable en architecture centralisée ou décentralisée, qui réduit grandement le stock de pièces de rechange. Une large gamme de CPU adaptée à toutes les demandes de performances

Pour pouvoir d'obtenir des temps de cycle machines courts, certaines étant dotées de fonctions technologiques intégrées comme par ex. le comptage, la régulation ou le positionnement.

Une économie d'ingénierie en utilisant les outils orientés application et normalisés CEI 1131-3 tels que les langages évolués SCL ou des logiciels exécutifs orientés technologie pour le contrôle des mouvements.

II.19. Programmation de l'automate S7 – 300

II.19.1. Logiciel de programmation

STEP7 fait partie de l'industrie logicielle SIMATIC. Il représente le logiciel de base pour la configuration et la programmation de système d'automatisation. Les tâches de bases qu'il offre à son utilisateur lors de la création d'une solution d'automatisation sont :

- La création et gestion de projets.
- La configuration et le paramétrage du matériel et de la communication.
- La gestion des mnémoniques.
- La création des programmes.
- Le chargement de programme dans les systèmes ciblés.
- Le test de l'installation d'automatisation.

Le STEP7 s'exécute sous le système d'exploitation de MICROSOFT à partir de la version Windows et s'adapte par conséquent à l'organisation graphique orientée objet qu'offrent ces systèmes d'exploitation.[21]

II.19.2. Les langages de programmation

Les langages de bases proposés dans l'éditeur de programme du logiciel STEP7 sont : CONT, LIST et LOG.

II.19.2.1. Le CONT

Le langage à contacts (LD : Ladder Diagram) est composé de réseaux lus les uns à la suite des autres par l'automate. Ces réseaux sont constitués de divers symboles représentant les entrées/sorties de l'automate, les opérateurs séquentiels (temporisations, compteurs, ...), les opérations, ainsi que les bits systèmes internes à l'automate (ces bits permettent d'activer ou non certaines options de l'automate, telle que l'initialisation des graficets).[23]

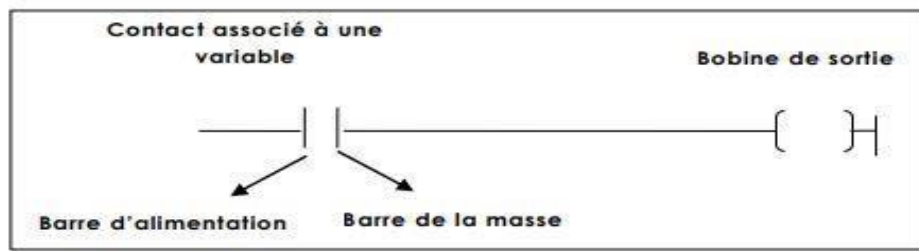


Figure II.6 : Exemple de programmation en langage à contact

II.19.2.2. Le LOG

Le LOG appelé aussi logigramme est un langage de programmation graphique qui utilise des portes logiques d'algèbre de BOOL, la base de ce langage est la logique binaire, mais on peut aussi faire des opérations plus complexes telles que les opérations mathématiques qui peuvent être représentées directement combinées avec les portes logiques

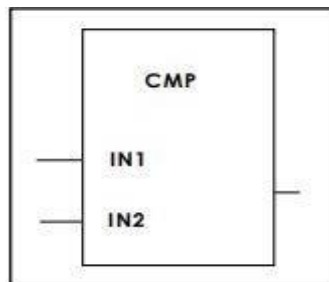


Figure II.7 : Exemple de programmation en langage LOG

II.19.2.3. Le LIST

Le langage LIST figure parmi les langages de base du logiciel STEP7, sa syntaxe est similaire à celle de l'assembleur. C'est le langage le plus proche du langage machine, ce qui lui donne l'avantage d'être le langage le plus adapté pour la programmation avec optimisation d'espace mémoire et de temps d'exécution. Il dispose d'un jeu d'instruction très important permettant la création de programmes utilisateurs complets.[23]

II.20. Conclusion

Au début de ce chapitre, on donne une description générale du système automatisé envisagée. Après cela une présentation détaillée de l'automate S7-300 en utilisant le logiciel de conception de programmes 'SIMATIC Manager' de Siemens.

Chapitre III

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons décrire de manière claire et concise chaque composant de cette station de pompage. Nous aborderons les caractéristiques, le mode de fonctionnement des actionneurs, ainsi que les capteurs de cette station.

III.2. Les équipements

III.2.1. Actionneur

Dans un système automatisé, un actionneur est un composant de la partie opérative qui reçoit des instructions de la partie commande via le pré-actionneur. Il transforme ensuite l'énergie fournie en une forme utilisable pour accomplir les tâches programmées dans le système automatisé.

III.2.1.1. Pompe

Une pompe est un dispositif hydraulique conçu pour aspirer un liquide (comme l'eau, l'huile, l'essence, les liquides alimentaires ...etc.) d'un point donné et le refouler vers un emplacement désiré avec une pression supérieure. Son objectif principal est d'accroître la pression ou de surmonter la résistance pour déplacer efficacement le liquide.[24]



Figure III.1: Pompe

III.2.1.2. Electrovanne

Une électrovanne est un dispositif électromagnétique utilisé pour contrôler le flux d'un fluide (liquide ou gaz) à travers une conduite ou un système. L'électrovanne s'ouvre ou se ferme en réponse à un signal électrique, permettant ainsi de démarrer.



*Figure III.2:*Electrovanne

III.3. Les capteurs

Les capteurs sont des dispositifs qui convertissent une grandeur physique en un signal électrique exploitable, Ils peuvent être de type TOR (Tout-ou-Rien), analogiques (généralement sous la forme de 4-20 mA ou de 0-10V) ou numériques.

Dans les systèmes d'automatisation, les capteurs jouent un rôle important et se trouvent principalement dans les catégories suivantes :

- Capteurs de niveau.
- Capteurs de protection tels que les PTC (Thermistances de Température Positives), les capteurs d'humidité, et les flotteurs pour détecter les fuites d'eau dans la pompe.

III.3.1. Capteur de niveau

Les détecteurs de niveau sont utilisés pour surveiller de manière progressive les changements de niveau dans un système. Lorsque le niveau d'un produit atteint le point de remplissage souhaité, le détecteur traduit cette variation physique en un signal de commutation. Cela permet d'activer ou de désactiver des équipements de remplissage tels que des convoyeurs ou des pompes, ou d'envoyer un signal à l'automate.



Figure III.3 : Capteur de niveau

III.3.2. Transmetteur de pression

Un transmetteur de pression est un dispositif qui convertit une pression en un signal analogique normalisé. Ce processus se réalise en déformant physiquement la membrane du transmetteur, où des jauges de contrainte sont insérées. Le signal de sortie du transmetteur, tel que 4-20mA, 0-20mA, 0-5V, ou 0-10V, est proportionnel à la pression mesurée. L'étendue de mesure (EM) d'un transmetteur correspond à la plage de pression pour laquelle il a été fabriqué et réglé, et l'erreur de mesure est généralement exprimée en pourcentage de cette étendue. En outre, un transmetteur de pression peut présenter des caractéristiques telles que l'erreur d'hystérésis, l'erreur de répétabilité, et des spécifications pour le branchement électrique.[25]



Figure III.4 : Transmetteur de pression

III.4. Les équipements de protection

III.4.1. Disjoncteur

Le disjoncteur constitue l'appareil de protection par excellence. C'est un interrupteur capable de s'ouvrir automatiquement en cas de défaut pour couper les courants de court-circuit. Il permet d'assurer une protection contre tous les défauts [26]

III.4.1.1. Le fonctionnement

Les disjoncteurs ont pour fonction de protéger les circuits contre les courts circuits. Notamment, on définit d'une manière implicite les disjoncteurs suivants :

- Disjoncteur magnétique : assure la protection contre les courts circuits.
- Disjoncteur thermique : assure la protection contre les surcharges.
- Disjoncteur magnétothermique : assure la protection contre les courts circuits ainsi que les surcharges.

- Disjoncteur magnétothermique différentiel : assure la protection contre les courts circuits, les surcharges et la protection des personnes contre les contacts indirects.



Figure III.5 : Disjoncteur

III.4.2. Disjoncteur –moteur

III.4.2.1. Définition

Un disjoncteur moteur est un dispositif de protection électrique conçu spécifiquement pour protéger les moteurs électriques contre les surcharges et les court-circuités. Il est utilisé pour interrompre automatiquement le courant électrique en cas de conditions anormales qui pourraient endommager le moteur ou créer des risques de sécurité.



Figure III.6 : Disjoncteur moteur

III.4.3. Contacteurs

Le contacteur est un appareil qui commande électromagnétique l'ouverture et la fermeture d'un circuit en charge. Les contacts sont fermés ou ouverts à l'aide d'une bobine appelée Bobine de commande, si cette bobine est alimentée ou excitée les contacts principaux sont fermés et si la bobine est non alimentée ou désexcitée les contacts principaux sont ouverts. Le contacteur est un appareil qui présente l'avantage de simplifier la commande des circuits d'une manière appréciable. Il présente par ailleurs les avantages suivants :

- Il est capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris les conditions de surcharges en service.
- L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance.
- Un contacteur peut être actionné à partir des éléments du circuit de commande (Bouton poussoir, Capteur, Etc...) Suivant le modèle, il possède aussi des contacts auxiliaires intégrés ouverts ou fermés, il est possible d'ajouter des additifs ou blocs auxiliaires servant uniquement pour la télécommande ou la signalisation. [27]

III.4.3.1. Le fonctionnement

Lorsque la bobine est alimentée, un champ magnétique se forme, la partie mobile de l'armature est attirée contre la partie fixe et les contacts se ferment (ou s'ouvrent suivant le modèle). Lorsque la bobine n'est pas alimentée, le ressort de rappel sépare les deux parties de l'armature et maintient les contacts de puissance.



Figure III.7 : Contacteur

III.4.4. Relais thermique

III.4.4.1. Définition

Ils assurent, par association avec un contacteur, la protection du moteur, de la ligne et de l'appareillage contre les surcharges faibles et prolongées. Ils sont donc conçus pour autoriser le démarrage normal des moteurs sans déclencher. Cependant, ils doivent être protégés contre les fortes surintensités par un disjoncteur, ou par des fusibles. Le principe de fonctionnement d'un relais thermique de surcharge repose sur la déformation de ses bilames chauffés par le courant qui les traversent.[27]



Figure III.8 : Relais thermique.

III.4.5. Relais de phase

Le relais de phase est un dispositif électronique permet de surveiller les trois phases avec le neutre, et à pour rôle de détecter l'absence d'une phase ou l'inversion de deux phases, nous utilisons ce dispositif pour assurer la protection totale de l'installation.[28]



Figure III.9 : Relais de phase.

III.4.6. Relais à broches

Un relais à broches, un composant électrique qui agit comme un interrupteur commandé à distance. Il se compose de deux circuits distincts :

- **Circuit de commande** : Il s'agit du circuit à faible puissance qui contrôle le relais. Ce circuit est généralement alimenté par un courant continu (CC) ou un signal de tension provenant d'un microcontrôleur ou d'un autre circuit électronique.
- **Circuit de puissance** : Il s'agit du circuit à haute puissance qui est commuté par le relais. Ce circuit peut être alimenté par une tension alternative (CA) ou continue (CC) et peut contrôler des charges telles que des moteurs, des lampes ou des appareils électroménagers.



Figure III.10 : Relais à broches

III.4.7. Relais de niveau

C'est un dispositif électronique utilisé pour contrôler et de réguler le niveau d'un liquide dans un réservoir ou d'un puits.

La figure ci-contre illustre le relais de niveau



Figure III.11 : Relais de niveau

III.5. Voyant

Ils sont utilisés pour fournir des indications sur l'état du système.




	<p>H1 </p> <p>Au repos</p>	<p>H1 </p> <p>Actionné</p>
<p>Images</p>	<p>Symbole</p>	

Figure III.12 : Voyants

III.6. Boutons poussoir

Les boutons poussoirs sont des commutateurs actionnés par une pression du doigt, qui ouvrent ou ferment deux ou plusieurs contacts.

<p>Bouton poussoir arrêt (Normally Closed NC)</p>		<p>S1 </p> <p>Symbole</p>
<p>Bouton poussoir marche (Normally Open NO)</p>		<p>S1 </p> <p>Symbole</p>

Figure III.13 : Boutons poussoirs

III.7. Variateur de vitesse : SINA MICS V20- 0.75 kW

Un variateur de vitesse est un appareil électronique utilisé pour contrôler la vitesse d'un moteur électrique. Il permet de moduler la vitesse du moteur, généralement constante, en faisant varier la fréquence de l'alimentation. Les variateurs de vitesse sont utilisés dans les processus industriels qui nécessitent une régulation précise de la vitesse. Ils peuvent également effectuer une inversion de sens, être alimentés par une alimentation monophasée ou triphasée et disposer d'une protection thermique intégrée.[29]



Figure III.14 : Variateur de vitesse.[29]

III.7.1. Constitution d'un variateur de vitesse

Un variateur de vitesse est constitué d'un redresseur, d'un filtre et d'un onduleur. Donc notre variateur de vitesse choisi est de type convertisseur de fréquence avec onduleur de tension à MLI, le variateur comporte

- Un pont redresseur triphasé à diodes qui délivre une tension continue d'amplitude pratiquement constante.
- Étage de filtration comportant un condensateur de forte capacité plus une inductance de lissage.
- Un pont onduleur de tension alimenté par la tension continue et générant une onde de tension alternative à amplitude et fréquence variables par la technique de MLI.[30]

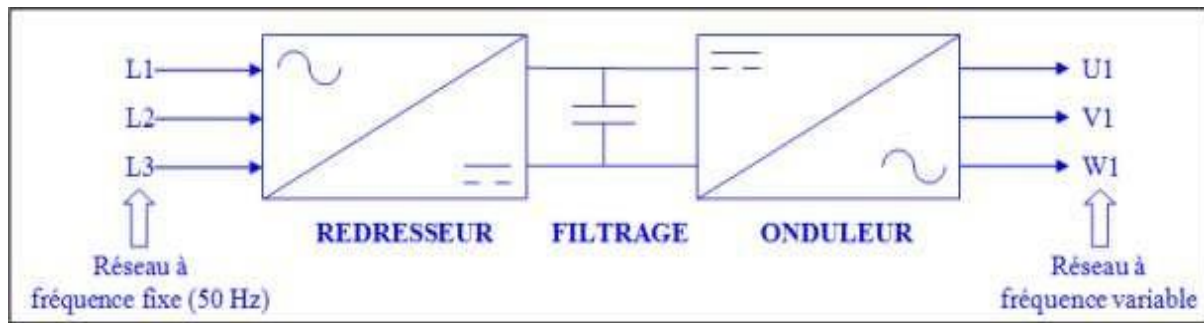


Figure III.15 : Variateur de vitesse

III.7.2. Caractéristiques de SINAMICS V20- 0.75kw

D'après la plaque signalétique du variateur de vitesse, on relève les caractéristiques suivantes.

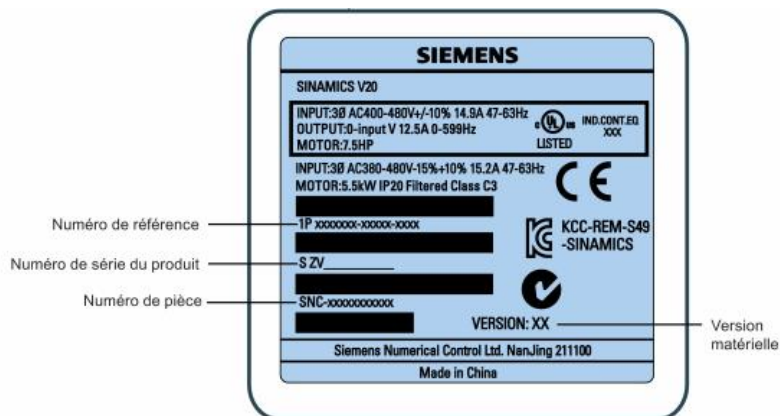


Figure III.16: Plaque signalétique de SINAMICS V20-0.75 kW.[29]

III.7.3. Définition des entrées et sortie de SINAMICS V20- 0.75kw

Ce variateur de vitesse possède :

- Entrées numériques TOR
- Entrées analogiques
- Sorties numériques (sorties transistor est sortie de relais).
- Sorties analogiques
- Un port de communication série via RS 485.

III.7.4. Schéma de câblage de SINAMICS V20- 0.75kw

La schématisation présente ci-dessous illustre le câblage complet des entrées et sorties, qu'elles soient numériques ou analogiques, de ce régulateur de vitesse.

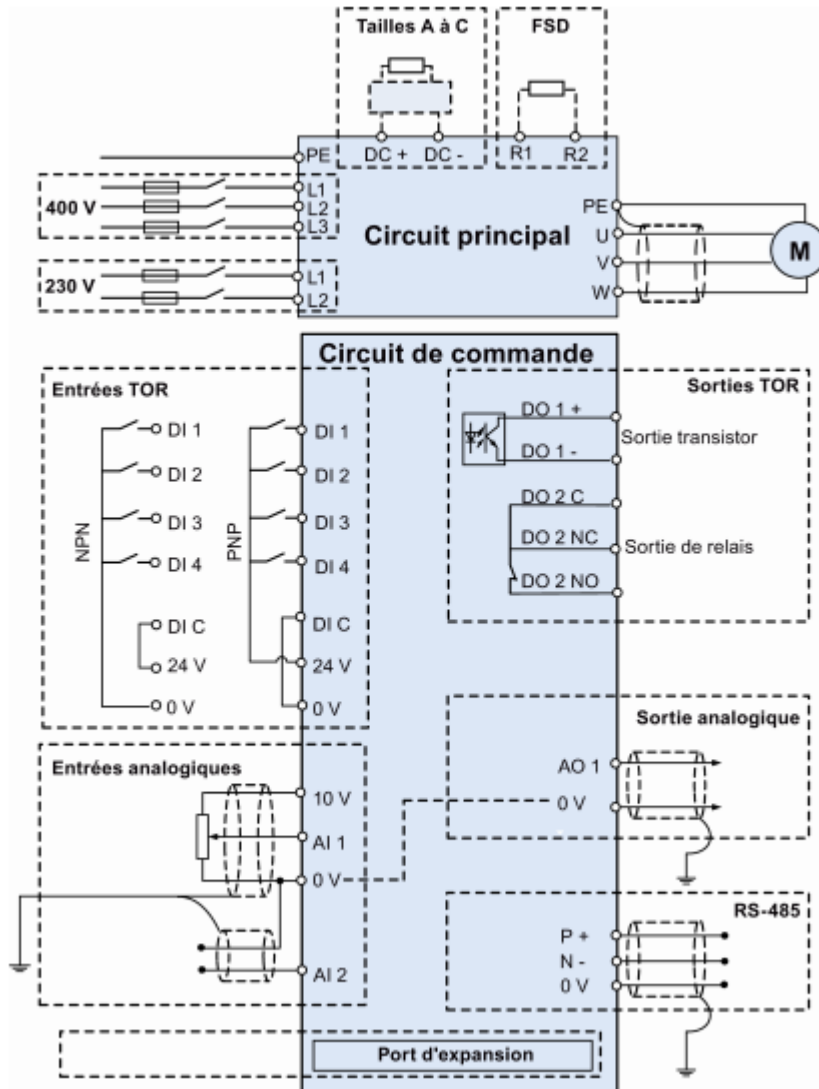


Figure III.17 : Schéma de câblage de SINAMICS V20-0.75 kW. [29]

III.8. Conclusion

Ce chapitre a souligné l'importance d'identifier de manière précise les composants d'une station de pompage. Il est crucial d'avoir une bonne compréhension des pompes, moteurs, vannes, capteurs et systèmes de contrôle pour garantir une opération efficace, une maintenance proactive et la longévité de la station.

Chapitre IV

IV.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons élaborer un plan visant à automatiser une station de pompage. Pour ce faire, nous utiliserons le logiciel Step7 de Siemens pour programmer notre automate S7-300.

En parallèle, nous mettrons en place une supervision en temps réel grâce au logiciel WINCC flexible.

De plus, nous travaillerons sur l'implémentation d'un régulateur PID afin de gérer les consignes des niveaux et de temps de réponse désirées.

IV.2. Présentation des outils de programmation

L'outil de programmation est adapté à chaque automate. Chaque entreprise élabore son propre outil de programmation. Dans notre situation, il s'agit de l'automate S7-300 de Siemens. Nous allons utiliser la version 5.7 de Step7 pour la programmation.

IV.2.1. Description du logiciel Step7

STEP 7 est le progiciel de base pour la configuration et la programmation des systèmes d'automatisation SIMATIC. Il fait partie de l'industrie logicielle SIMATIC, et il contient plusieurs versions. [30]

- STEP 7-Micro/DOS et STEP 7-Micro/Win pour des applications autonomes simples sur SIMATIC S7 - 200.
- STEP 7 pour des applications sur SIMATIC S7-300/400.

IV.2.2. Description du logiciel WinCC flexible

WinCC flexible est le logiciel d'interface homme-machine (IHM) utilisé pour créer des concepts d'automatisation évolutifs au niveau de la machine grâce à des outils d'ingénierie simples et performants.

WinCC flexible réunit les avantages suivants :

- Simplicité
- Ouverture
- Flexibilité. [31]

IV.2.3.Régulation de la station

La régulation de la station de pompage est cruciale pour une gestion efficace des systèmes de distribution d'eau. Son objectif est de maintenir des conditions de fonctionnement optimales en contrôlant les niveaux d'eau, la pression et le débit à travers divers procédés de contrôle.

IV.2.4.Choix du régulateur

Le choix du régulateur sera principalement déterminé par les spécificités du système de pompage, ainsi que par les besoins spécifiques en matière de régulation. De notre cas nous allons appeler un régulateur PID puisqu'il est adapté à notre système.

IV.2.5.Définition du régulateur PID

Un régulateur PID et un dispositif de contrôle utiliser pour améliorer les performances d'un asservissement en boucle fermé, ce type de régulateur est plus répandu dans le secteur industriel, où il ajuste diverses grandeurs physiques afin de garantir un fonctionnement optimal.

IV.3. Banc d'essai

IV.3.1.Description de notre système

La maquette que nous avons réalisée est composée de :

- 02 cuves d'eau de capacité de 100L
- Automate programmable S7-300
- Transmetteur de pression
- Capteurs
- Moteur asynchrone de puissance 370W
- Variateur de vitesse SINAMICS V20- 0.75 KW
- Disjoncteur, contacteur, relai thermique, relais de phase et régulateur PID

A partir des données du cas réel, nous avons identifié notre système puis on a calculé les paramètres du régulateur PID utilisant la méthode Broida, après avoir introduire ces paramètres dans le système nous avons simulé ce dernier.

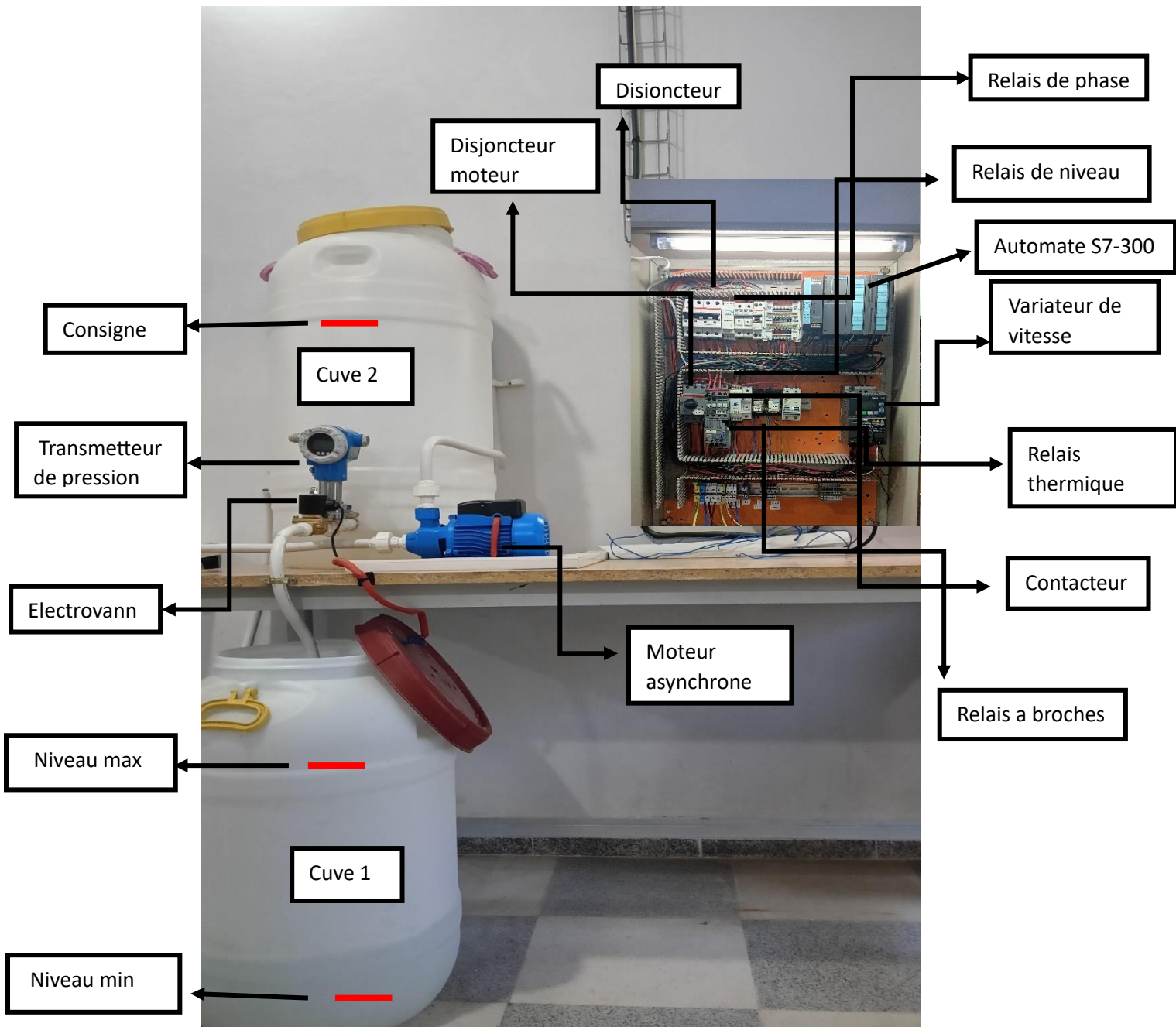


Figure IV.1 : Système de pompage

IV.4. Cahier de charge

IV.4.1. Description Détaillée du Processus de Remplissage et de Régulation de la cuve

- **Remplissage de la Cuve 1**

Le processus démarre par le remplissage de la cuve 01, en partant du niveau bas jusqu'au niveau haut prédéfini.

- **Lancement de la Pompe en BF**

Dès que le niveau de liquide atteint le seuil de niveau haut cuve 1, la pompe se met en marche de façon automatique pour transférer de l'eau de la cuve 01 vers la cuve 02.

La pompe est régulée par un régulateur PID en boucle fermée (BF). Cette régulation permet de moduler la vitesse de la pompe afin de maintenir le niveau de la cuve 2 de liquide à la consigne désirée.

- **Atteinte et Maintien du Niveau de Consigne**

La régulation PID ajuste continuellement le fonctionnement de la pompe pour stabiliser le niveau de liquide à la consigne désirée (cuve 02). Lorsque le niveau de consigne est atteint et que le système est stabilisé, la pompe et la vanne s'arrêtent automatiquement.

- **Perturbation Intentionnelle du Système**

On utilise une vanne manuelle pour provoquer une perturbation dans le système de régulation cette perturbation simule un changement brusque dans les conditions du système.

La perturbation détectée par la régulation PID permet d'ajuster le fonctionnement de la pompe en conséquence.

- **Réaction de la Pompe à la Perturbation**

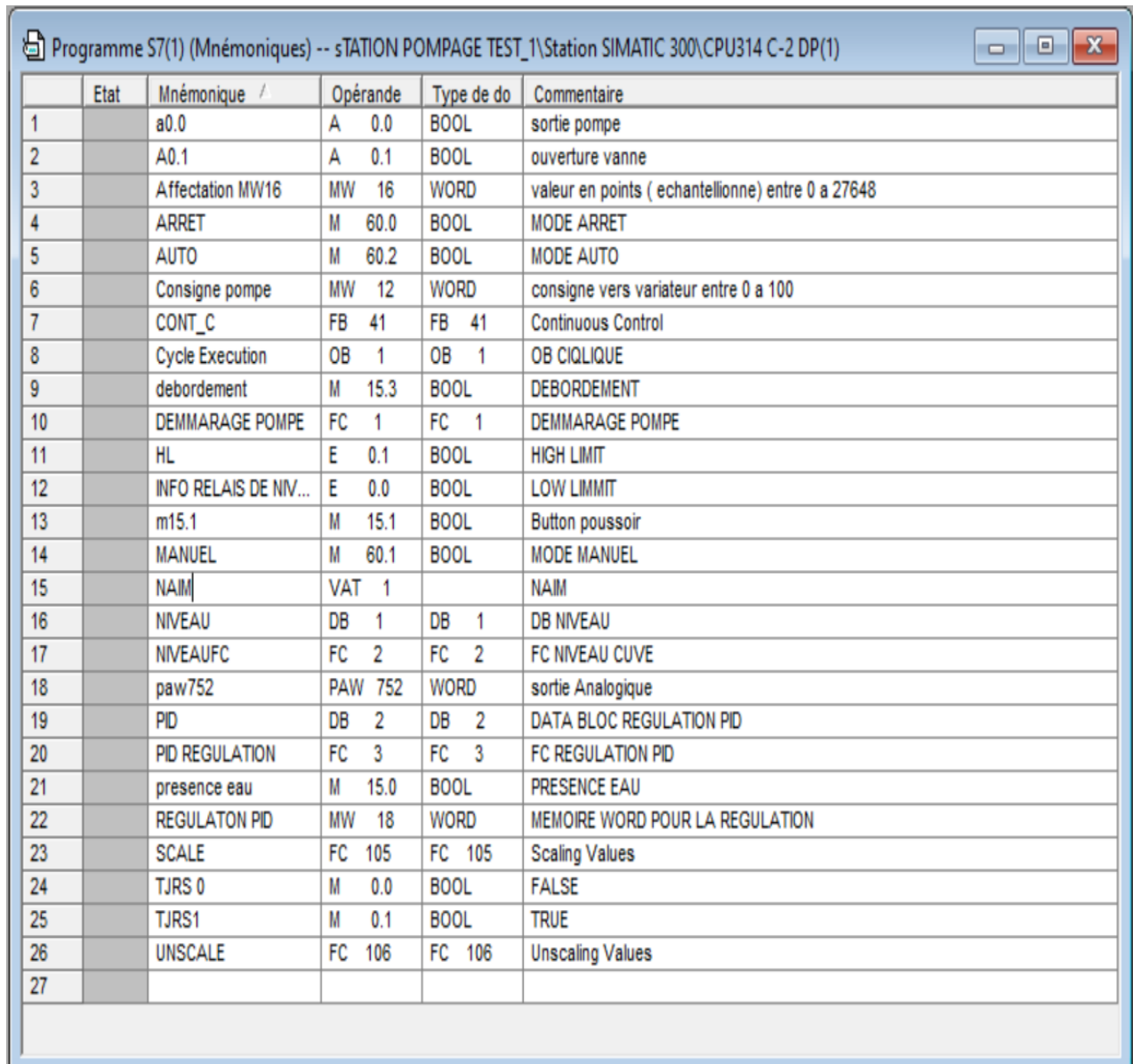
Suite à la perturbation causée par la vanne manuelle, la pompe réagit en modifiant son fonctionnement pour ramener le niveau de liquide à la consigne souhaitée.

La pompe continue d'ajuster jusqu'à ce que le niveau de liquide soit à nouveau stable par rapport aux consignes désirées.

En résumé, le système remplit la cuve 01 jusqu'au niveau haut, démarre la pompe sous contrôle PID pour maintenir le niveau de consigne cuve 02, s'arrête lorsque ce niveau est atteint, et réagit aux perturbations pour retrouver et maintenir la consigne.

IV.5. Table de mnémonique

Grâce au tableau des mnémoniques, nous avons pu établir la liste des variables qui seront utilisées pendant la programmation. Il nous a permis de définir tous les éléments d'entrée et de sortie de notre système, tels que les capteurs de fin de course, les commandes de démarrage et d'arrêt de la pompe, les différents modes de fonctionnement (automatique, manuel, arrêt), ainsi que l'activation et la désactivation des vannes. La figure ci-dessous illustre notre table de mnémoniques.



	Etat	Mnémonique /	Opérande	Type de do	Commentaire
1		a0.0	A 0.0	BOOL	sortie pompe
2		A0.1	A 0.1	BOOL	ouverture vanne
3		Affectation MW16	MW 16	WORD	valeur en points (echantellionne) entre 0 a 27648
4		ARRET	M 60.0	BOOL	MODE ARRET
5		AUTO	M 60.2	BOOL	MODE AUTO
6		Consigne pompe	MW 12	WORD	consigne vers variateur entre 0 a 100
7		CONT_C	FB 41	FB 41	Continuous Control
8		Cycle Execution	OB 1	OB 1	OB CIQLIQUE
9		debordement	M 15.3	BOOL	DEBORDEMENT
10		DEMMARAGE POMPE	FC 1	FC 1	DEMMARAGE POMPE
11		HL	E 0.1	BOOL	HIGH LIMIT
12		INFO RELAIS DE NIV...	E 0.0	BOOL	LOW LIMMIT
13		m15.1	M 15.1	BOOL	Button poussoir
14		MANUEL	M 60.1	BOOL	MODE MANUEL
15		NAIM	VAT 1		NAIM
16		NIVEAU	DB 1	DB 1	DB NIVEAU
17		NIVEAUF	FC 2	FC 2	FC NIVEAU CUVE
18		paw752	PAW 752	WORD	sortie Analogique
19		PID	DB 2	DB 2	DATA BLOC REGULATION PID
20		PID REGULATION	FC 3	FC 3	FC REGULATION PID
21		presence eau	M 15.0	BOOL	PRESENCE EAU
22		REGULATON PID	MW 18	WORD	MEMOIRE WORD POUR LA REGULATION
23		SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
24		TJRS 0	M 0.0	BOOL	FALSE
25		TJRS1	M 0.1	BOOL	TRUE
26		UNSCALE	FC 106	FC 106	Unscaling Values
27					

Figure IV.2 : Table de mnémonique

IV.6. Programmation de la station avec le logiciel Step7

Avant de commencer la programmation, il est essentiel de configurer les modules que nous allons utiliser, dans notre situation, les modules suivants sont utilisés :

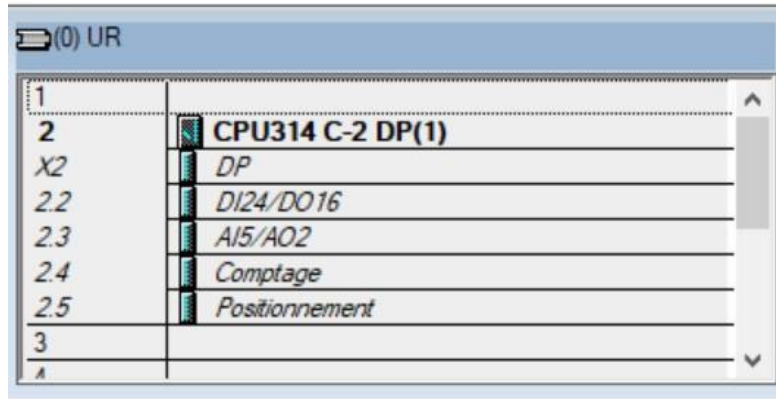


Figure IV.3 : Choix de la CPU

Dans notre programmation, nous adoptons le langage à contacts, où chaque fonction est structurée dans des blocs fonctionnel (FC) avant d'être intégrée dans le bloc d'organisation (OB1). Ce dernier gère le traitement cyclique des blocs de fonction, la figure ci-dessous représente cycle d'exécution et choix du langage.

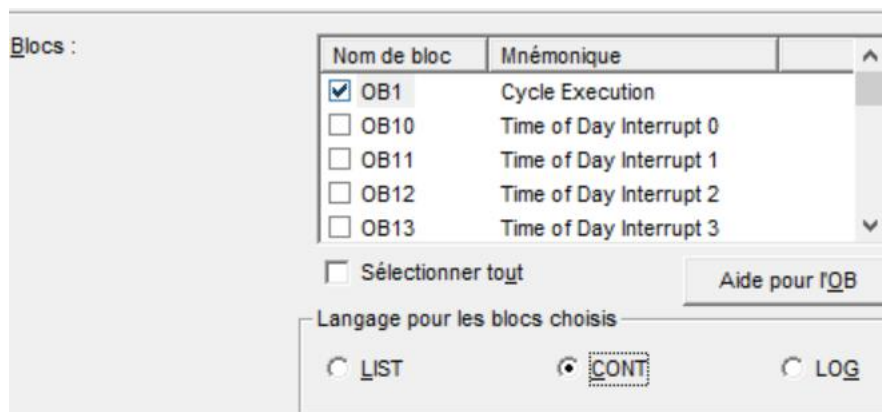


Figure IV.4 : Cycle d'exécution et choix du langage

Notre projet se compose de trois éléments distincts :

- Démarrage de la pompe
- Détection de niveau analogique en temps réel
- Régulation de niveau avec régulateur PID

La figure ci-contre représente notre projet de simulation.

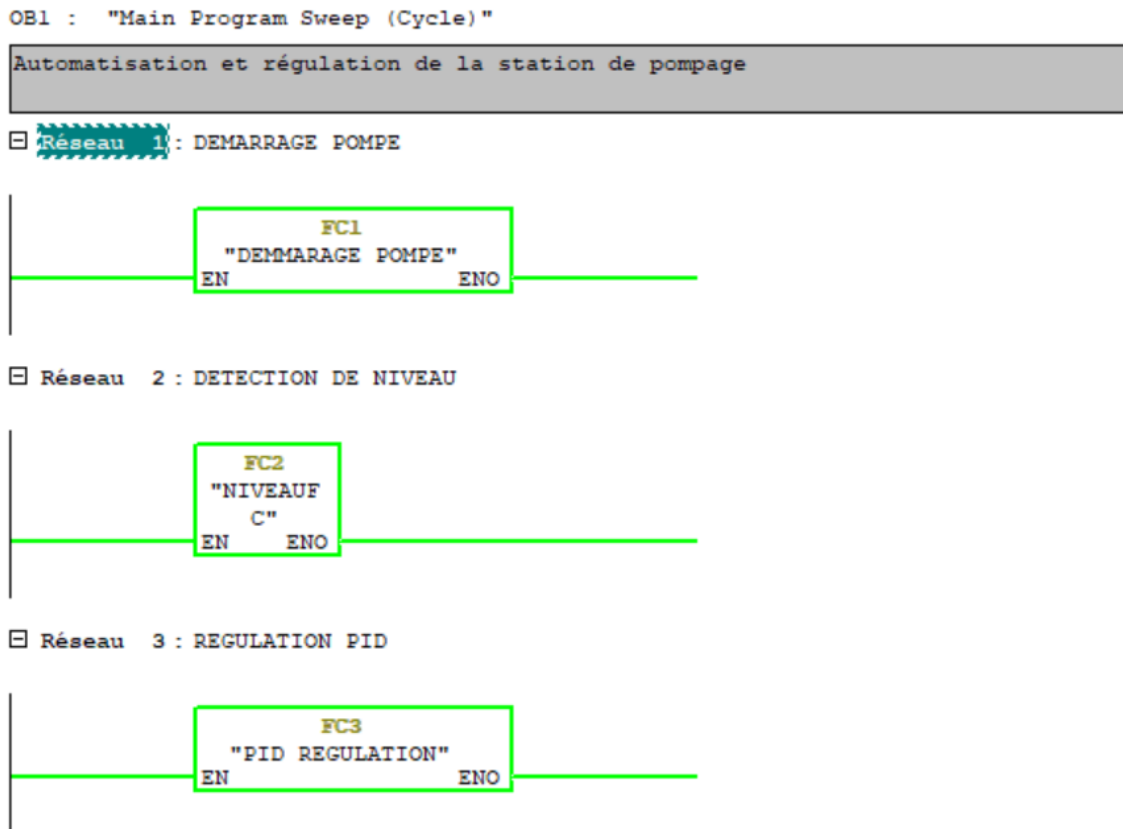


Figure IV.5 : Contenus du bloc OB1

IV.6.1. Démarrage de la pompe

Réseau 01

La figure ci-dessous illustre le mode de fonctionnement en arrêt. Un bloc de comparaison de type $CMP == I$ est utilisé pour comparer deux valeurs, MW50 et 0. Si cette comparaison est vraie, la valeur 0 (sera affectée à MW16 pour arrêter la pompe).

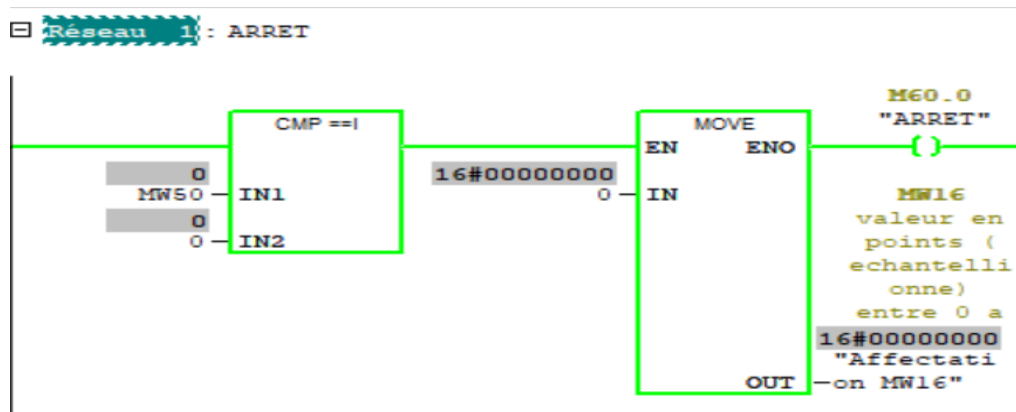


Figure IV.6 : Mode arrêt

Réseau 02

La figure illustre le mode de fonctionnement en manuel. Un bloc de comparaison de type $CMP ==I$ est utilisé pour comparer deux valeurs, MW50 et 1. Si cette comparaison est vraie, la valeur sera assignée à MW16 si non j'affecte un 0 vers la consigne au mode manuel puis je reset le bouton poussoir.

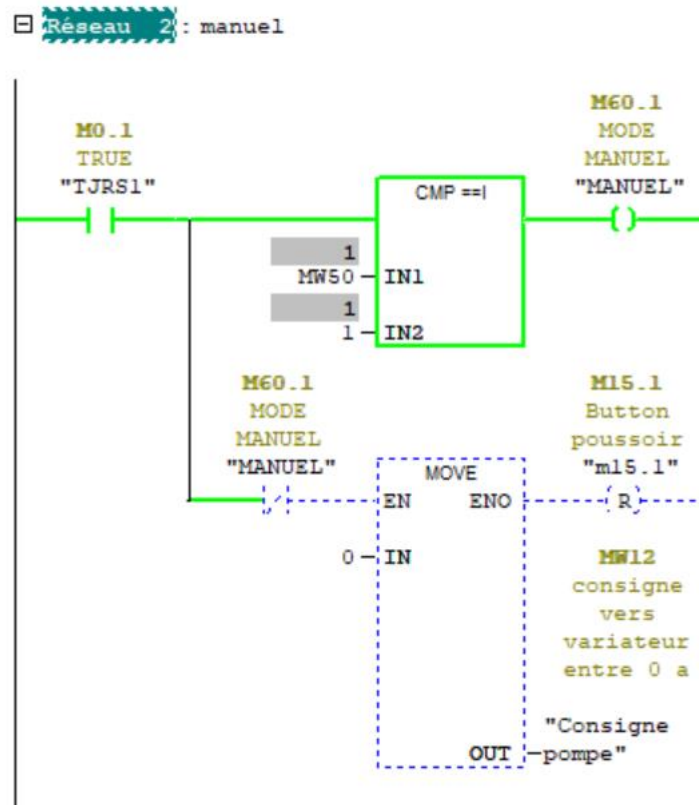


Figure IV.7 : Mode manuel

Réseau 03

La figure illustre le mode de fonctionnement en auto. Un bloc de comparaison de type $CMP ==I$ est utilisé pour comparer deux valeurs, MW50 et 2. Si cette comparaison est vraie, mode automatique est activée.

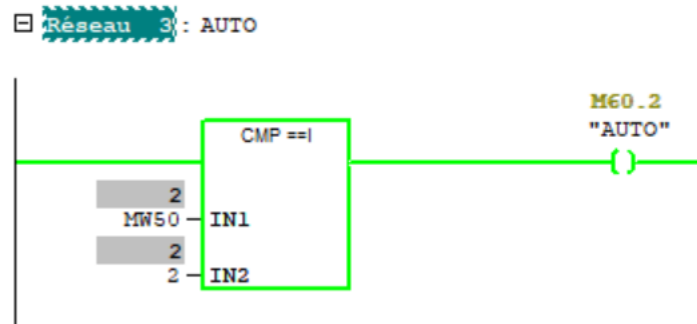


Figure IV.8 : Mode auto

Réseau 04

La figure illustre le système de sécurité de la pompe. Une bascule SR (set-reset) est utilisée pour contrôler l'état. Lorsque le niveau de la cuve est haut, l'entrée S est mise à 1 et l'entrée R à 0, activant ainsi la bascule (mise à 1). Lorsque le niveau de la cuve est bas, l'entrée S est mise à 0 et l'entrée R à 1, désactivant la bascule (mise à 0).

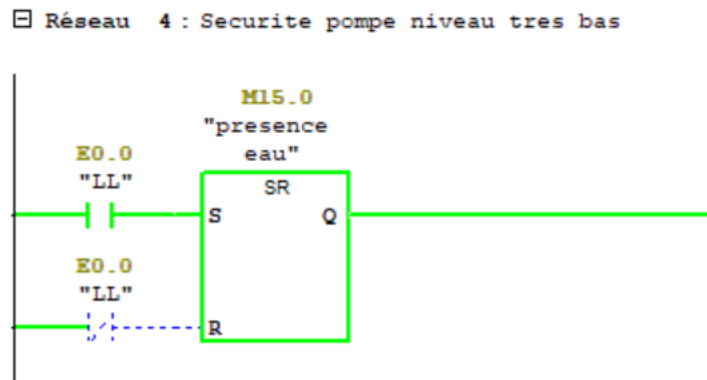


Figure IV.9 : Sécurité de pompe

Réseau 05

La figure ci-dessous illustre le démarrage de la pompe. Il existe deux modes de fonctionnement pour lancer la pompe. En mode automatique (AUTO), il est nécessaire de vérifier les conditions de base suivantes : activation du mode automatique, présence d'eau et absence de débordement. Pour passer en mode manuel, il suffit d'appuyer sur le bouton poussoir après avoir vérifié les conditions de marche, à savoir la présence d'eau et l'absence de débordement.

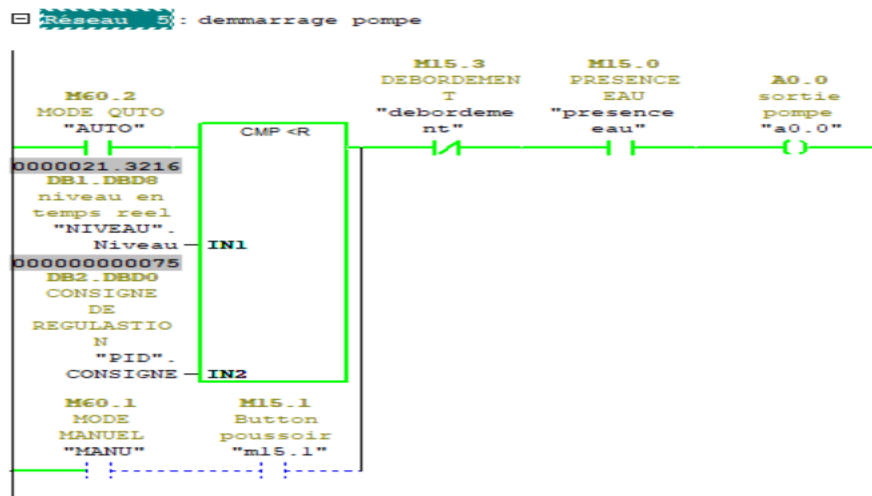


Figure IV.10 : Démarrage de la pompe

Réseau 06

La figure ci-dessous représente l'affectation des deux mémoire Word pour la gestion de la vitesse de la pompe dans les deux modes de fonctionnement : automatique et manuel.

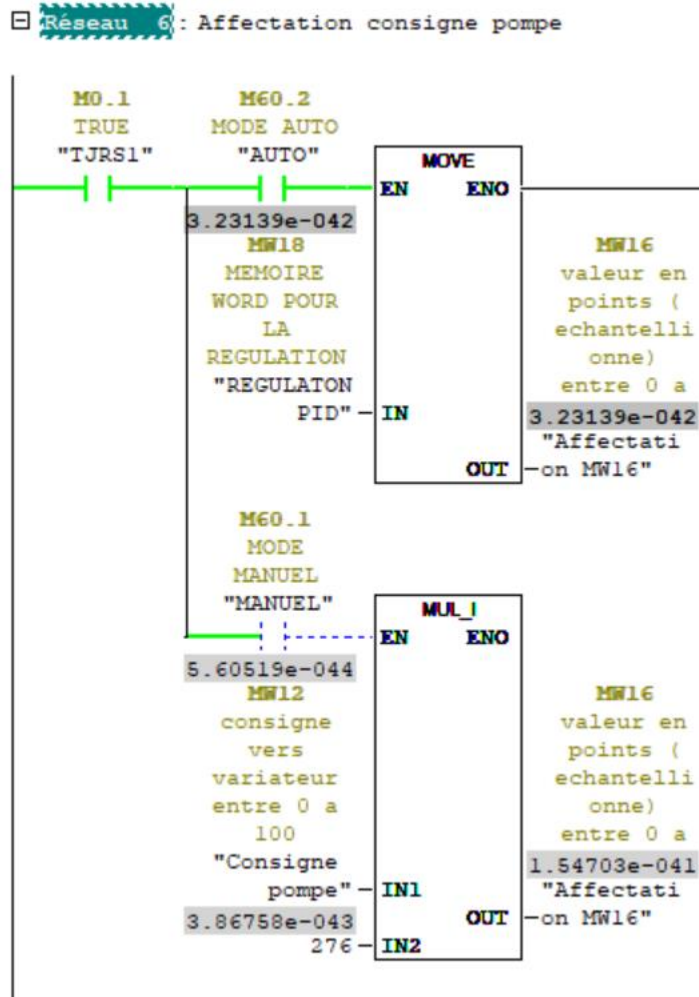


Figure IV.11 : Affectation de la consigne de pompe

Réseau 07

La figure ci-dessous illustre la sortie analogique de la pompe.

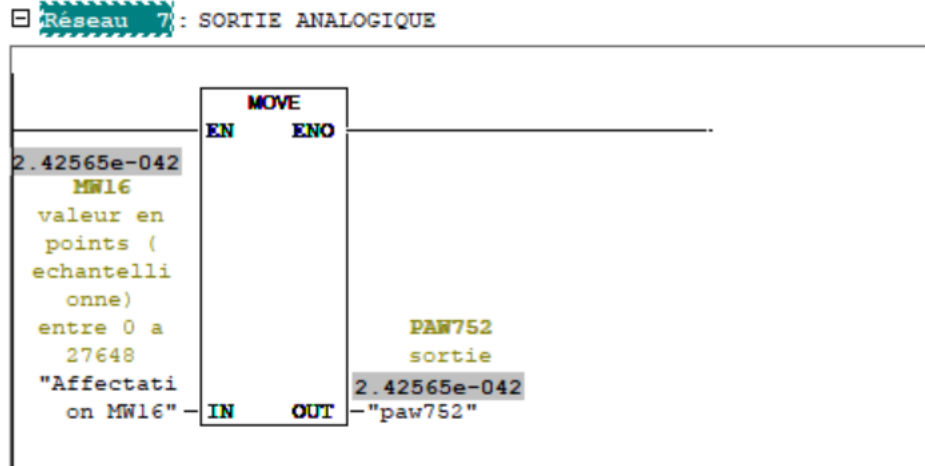


Figure IV.12 : Sortie analogique de la pompe

Réseau 08

La figure ci-dessous illustre l'ouverture de la vanne en cas de débordement. Deux blocs de comparaison de type CMP>R sont utilisés pour comparer le niveau de la cuve en temps réel à la consigne du régulateur. Si le niveau dépasse la consigne, la vanne s'ouvre ; sinon, elle se ferme.

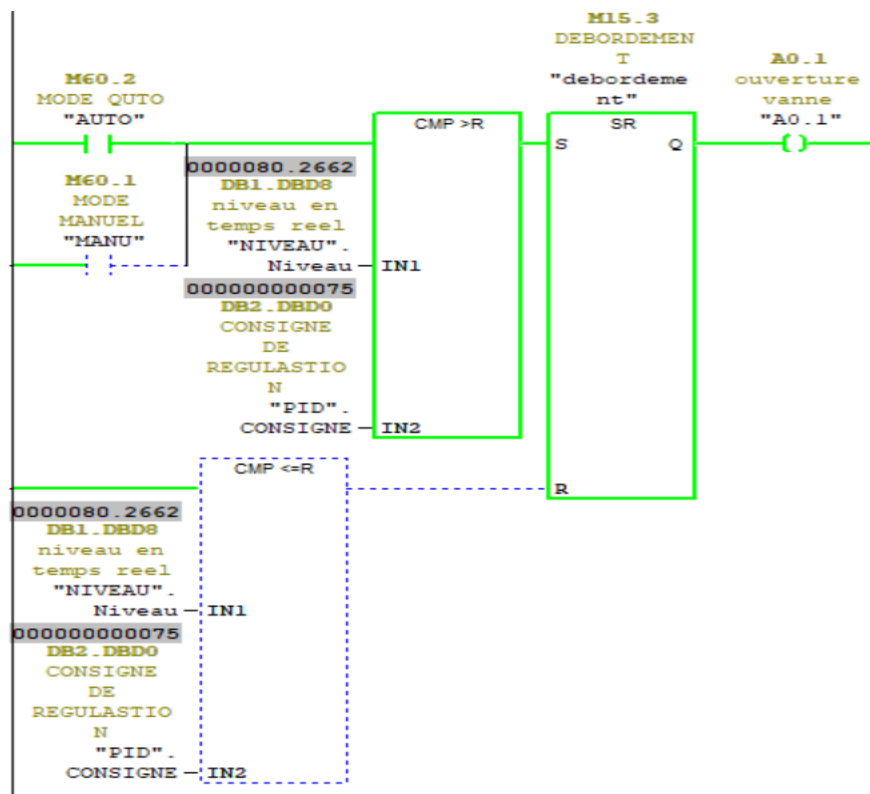


Figure IV.13 : Ouverture de vanne en cas débordement

Réseau 09

La figure ci-dessous représente l'échelle de la pompe. Un bloc de type scale est utilisé pour afficher la vitesse de rotation de la pompe.

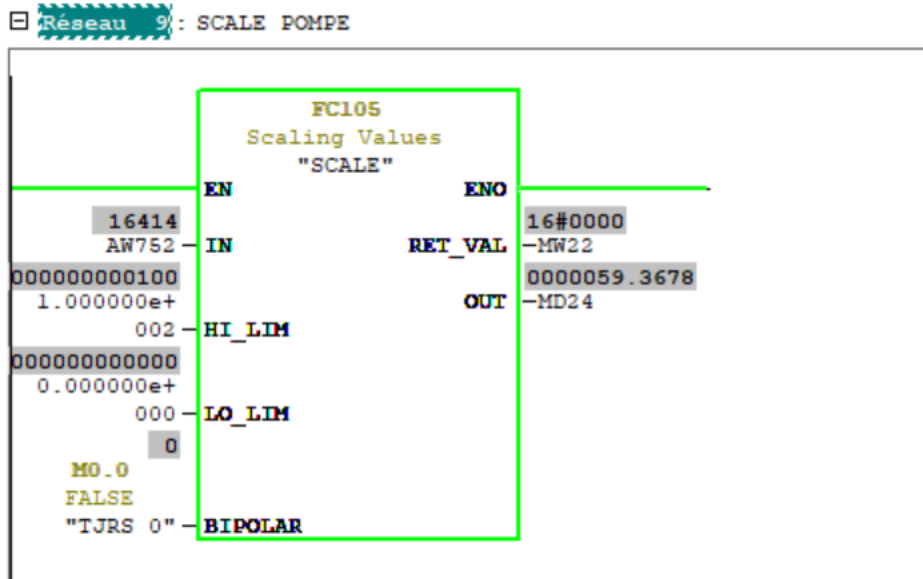


Figure IV.14 : Scale pompe

IV.6.2. Détection de niveau en temps réel

Réseau 01

La figure ci-dessous représente l'échelle du niveau de la cuve. Ce bloc est utilisé pour afficher le niveau de la cuve.

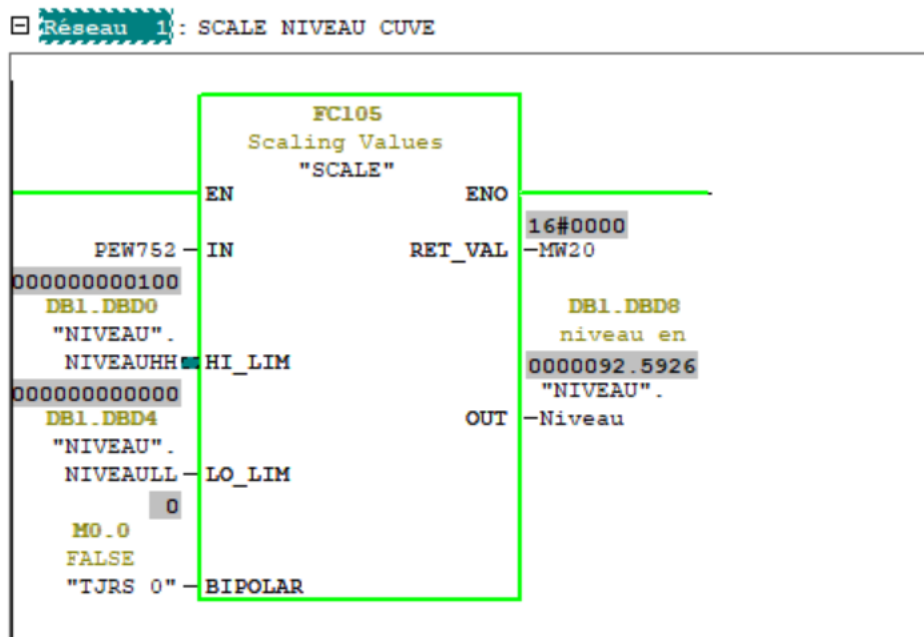
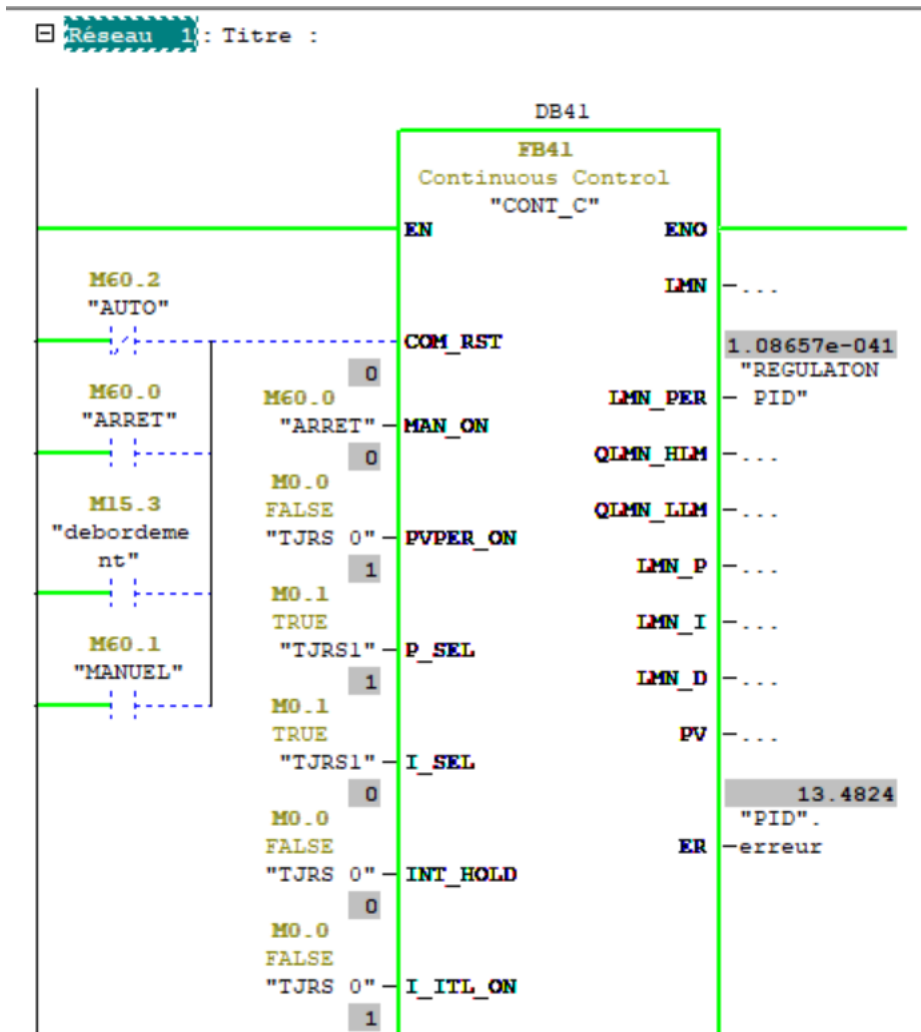


Figure IV.15 : Détection de niveau en temps réel

IV.6.3. Régulation de niveau avec régulateur PID

La régulation d'une station à l'aide d'un régulateur PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) sur le logiciel Step7 est une tâche courante dans l'automatisation industrielle. Ce dernier ajustera le système pour maintenir la valeur mesurée aussi proche que possible de la consigne désirée. La figure ci-dessous représente le régulateur PID.



```

MO.1
TRUE
"TJRS1" - D_SEL
16#00000001
T#1MS - CYCLE
000000000075
DB2.DBD0
CONSIGNE
DE
REGULASTIO
N
"PID".
CONSIGNE - SP_INT
000000000075
DB1.DBD8
niveau en
temps reel
"NIVEAU".
Niveau - PV_IN
... - PV_PER
... - MAN
0000000000.4
DB2.DBD4
"PID".GAIN - GAIN
16#000007d0
DB2.DBD36
"PID".
KITIME - TI
16#0000000a
DB2.DBD40
"PID".
KDTIME - TD
... - TM_LAG
... - DEADB_W
... - LMN_HLM
... - LMN_LLM
... - PV_FAC
... - PV_OFF
... - LMN_FAC
... - LMN_OFF
... - I_ITLVAL
... - DISV

```

Figure IV.16 : Régulateur PID

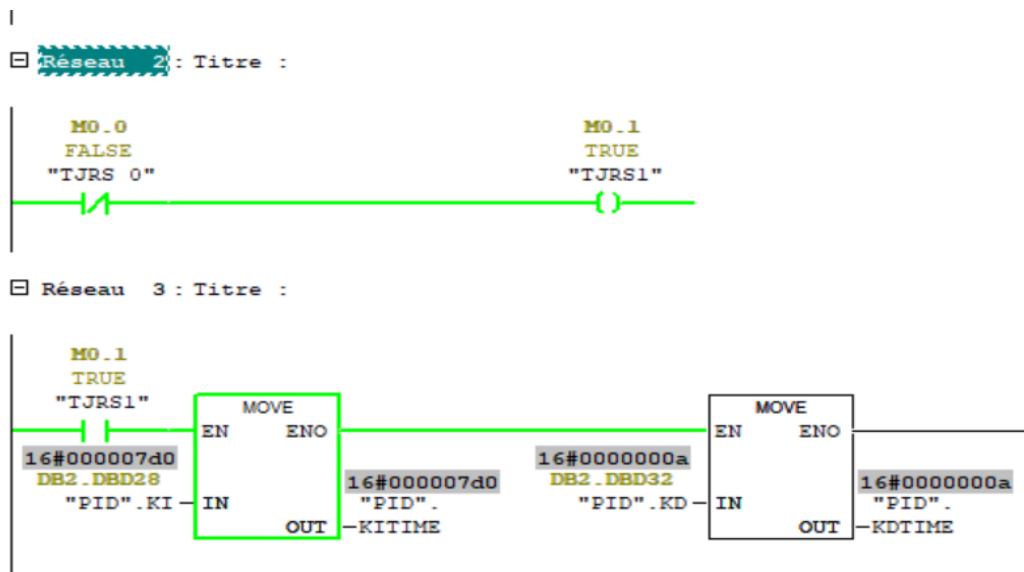


Figure IV.17 : Affectation temps d'intégration et dérivation

IV.7. Supervision avec le logiciel WinCC flexible

IV.7.1. Le choix de pupitre

Le pupitre de commande également appelé pupitre d'opérateur, est l'interface de communication homme-machine dans les applications industrielle, permettant à l'opérateur de contrôler et surveiller les processus.

Nous avons choisi le pupitre KTP-600 Basic colore DP

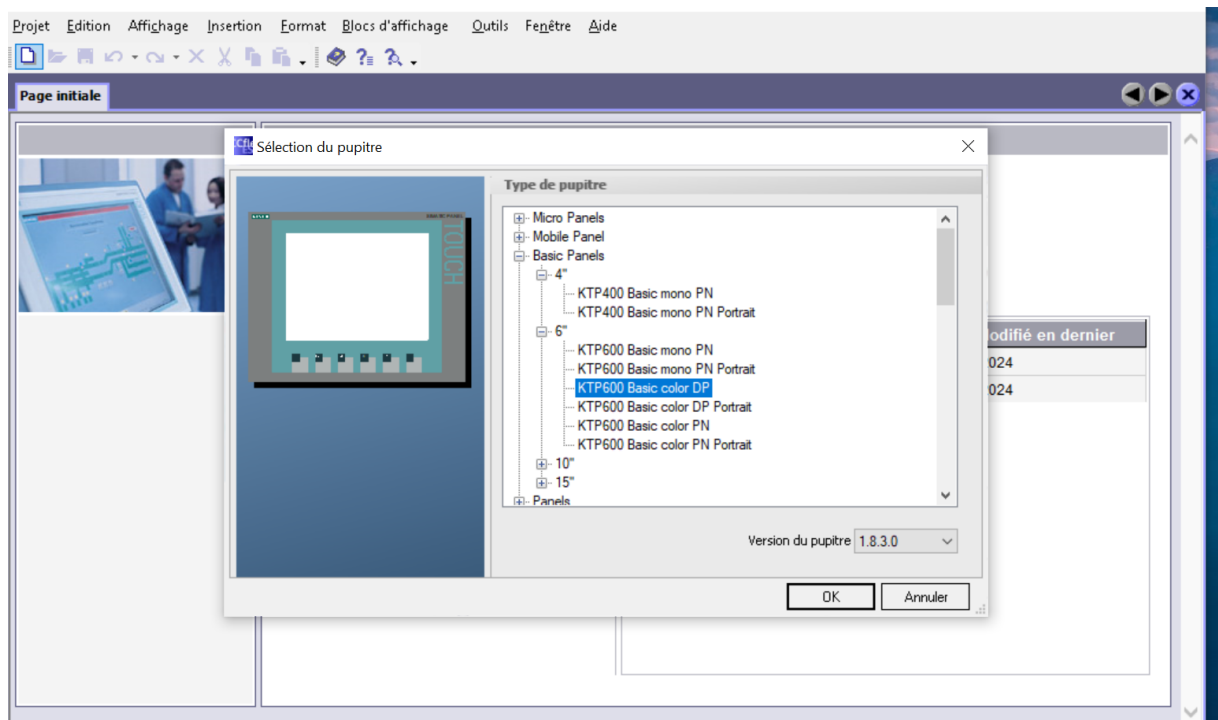


Figure IV.18 : Choix du pupitre

IV.7.2.La supervision

La supervision est une technique industrielle de suivi et de pilotage informatique de procédés de fabrication automatisés .la supervision concerne l'acquisition de données (mesures, alarmes, retour d'état de fonctionnement) et des paramètres de commande des processus généralement confiés à des automates programmables.

IV.7.2.1. La supervision avec IHM WinCC flexible

Les vues sont les éléments principaux du projet, Elles permettent de commander et de contrôler l'installation de pompage, par exemple l'affichage de niveau de cuve de la station et l'état de la pompe et électrovanne.

L'interface graphique de notre station de pompage est constituée de trois vues :

- La vue générale

Cette vue permet de visualiser tous les équipements de la station : la pompe (en marche ou arrêt), l'état de l'électrovanne (ouverte ou fermée), et le niveau d'eau dans la cuve. La figure ci-dessous montre la vue d'ensemble.

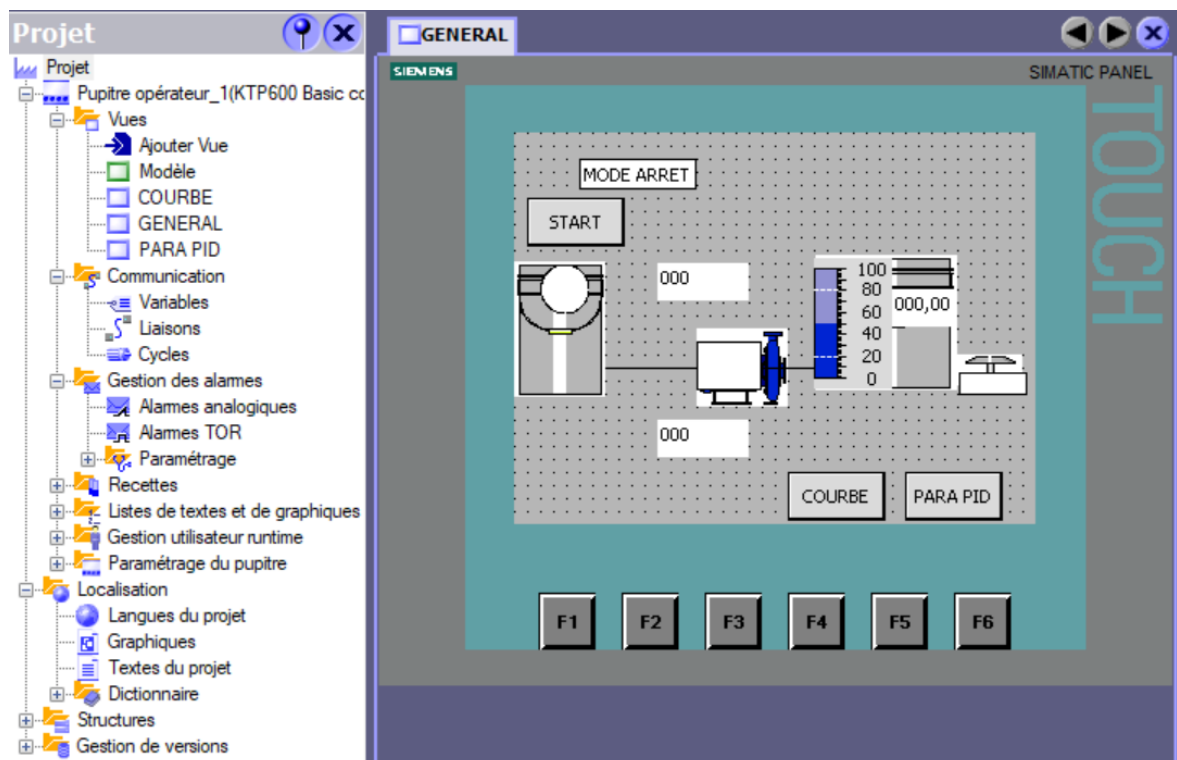


Figure IV.19 : Vue générale

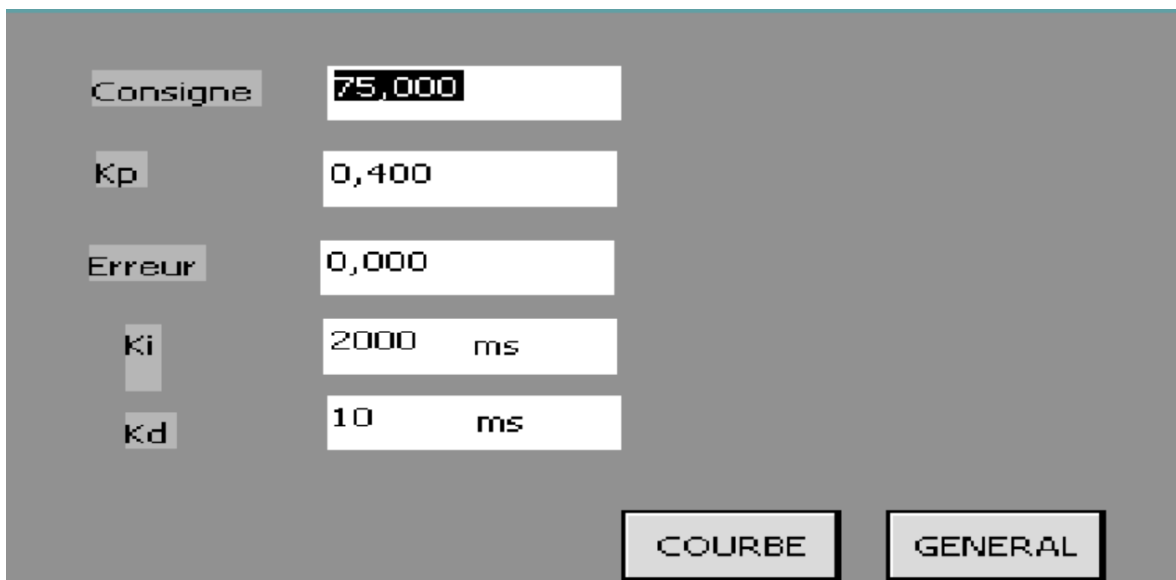
- La vue paramètre PID

Le terme proportionnel est directement proportionnel à l'erreur actuelle, il applique une correction proportionnelle à l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de consigne, le gain proportionnel K_p détermine la réactivité du régulateur aux erreurs, un k_p élevé peut conduire à une réponse rapide, mais peut aussi provoquer des oscillations et de l'instabilité.

Le terme intégral s'accumule au fil du temps avec l'erreur, il corrige les erreurs passées en ajoutant une correction en fonction de la somme des erreurs, le gain intégral k_i permet d'éliminer l'erreur résiduelle ou l'erreur statique, en ajoutant une action de correction continue jusqu'à ce que l'erreur soit nulle, un K_i trop élevé peut entraîner une réponse lente et des oscillations.

Le terme dérivé anticipe la tendance de l'erreur en fonction de sa dérivée par rapport au temps, il applique une correction en fonction de la vitesse de changement de l'erreur, Le gain dérivé k_d aide à amortir le système en réduisant les oscillations et en améliorant la stabilité. Cependant, un k_d trop élevé peut rendre le système trop réactif aux bruits de mesure.[32]

La figure ci-dessous présente les paramètres du régulateur, notamment la consigne, l'erreur et (k_p , k_i et k_d).



Consigne	75,000
Kp	0,400
Erreur	0,000
Ki	2000 ms
Kd	10 ms

COURBE GENERAL

Figure IV.20 : Paramètres PID

- La vue courbe

La figure ci-dessous montre les courbes permettant de visualiser la vitesse de la pompe, l'erreur, la consigne et le niveau :

- Noir : erreur
- Jaune : pompe
- Vert : consigne
- Rouge : niveau

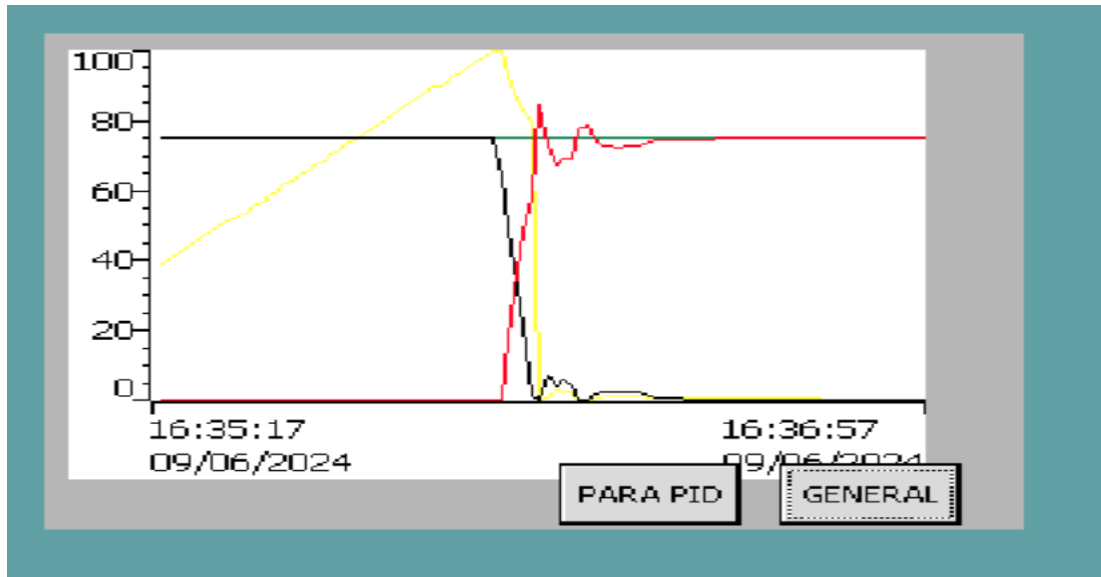


Figure IV.21 : Résultats des courbes de simulation de notre système de pompage.

IV.7.2.2. Discussions des courbes :

La puissance de la pompe varie en fonction du niveau d'eau au fil du temps. Si le niveau d'eau dans la cuve est bas, la pompe commence à fonctionner progressivement, augmentant sa puissance de manière contrôlée jusqu'à ce que le niveau d'eau atteigne la consigne souhaitée. Une fois ce niveau atteint, la pompe s'arrête automatiquement et la vanne reste fermée pour maintenir le niveau d'eau stable.

En cas de débordement, c'est-à-dire si le niveau d'eau dépasse la consigne de la cuve, la vanne s'ouvre pour permettre l'évacuation de l'excès d'eau, et la pompe s'arrête immédiatement pour éviter tout dommage ou inefficacité.

Concernant la gestion de l'erreur, lorsque le niveau d'eau atteint la consigne désirée, l'erreur (différence entre le niveau actuel et le niveau souhaité) se remet automatiquement à zéro, indiquant que le système a atteint l'état de fonctionnement optimal.

IV.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé le processus d'automatisation d'une station de pompage en utilisant des technologies avancées de Siemens. Nous avons commencé par la programmation de l'automate avec le logiciel Step7. Ensuite, nous avons mis en place un système de supervision en temps réel à l'aide d'un logiciel WinCC flexible de Siemens, ce qui a facilité le contrôle à distance de la station. Nous avons également introduit un régulateur PID pour gérer des situations spécifiques, comme le débordement ou l'ouverture des vannes. Le régulateur PID joue un rôle essentiel en ajustant constamment les paramètres du système pour atteindre les valeurs de consigne définies, assurant ainsi une régulation précise et stable du processus.

Conclusion générale

Les stations de pompage sont un élément essentiel dans la gestion des ressources en eau, de grandes quantités d'eau peuvent être transportées à diverses fins, notamment l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable et les installations industrielles, il est important de les automatiser et de les surveiller en temps réel pour améliorer leur efficacité et leur fiabilité.

Ce mémoire a abordé l'automatisation, la supervision en temps réel et la régulation d'une station de pompage, pour cela notre mémoire est répartie en quatre chapitres distincts.

Dans la première partie, nous avons abordé l'état de l'art en matière de technologies de pompage, d'automatisation et de régulation, en soulignant les avancées actuelles et les meilleures pratiques de l'industrie.

La deuxième partie s'est concentrée sur les automates programmables industriels (API), en particulier le modèle S7-300. Nous avons exploré leur fonctionnement, leurs avantages et leur rôle clé dans la modernisation des systèmes de pompage.

Ensuite, nous avons identifié les composants essentiels de notre station de pompage dans la troisième partie. Cela inclut les pompes, capteurs, vannes et autres équipements critiques, dont l'intégration est essentielle pour un fonctionnement optimal du système.

Enfin, la quatrième partie a détaillé le processus d'automatisation de la station en utilisant l'automate S7-300 et le logiciel STEP-7 pour la programmation. La supervision a été assurée à l'aide du logiciel WinCC Flexible, permettant un contrôle en temps réel et une gestion efficace des opérations. Pour la régulation, nous avons intégré un régulateur PID, qui a permis d'améliorer la stabilité et l'efficacité des opérations de pompage en ajustant automatiquement les paramètres de fonctionnement.

L'automatisation et la supervision de la station ont apporté des bénéfices significatifs, notamment une amélioration de l'efficacité énergétique, une réduction des coûts opérationnels et une augmentation de la fiabilité des systèmes. Cependant, pour maximiser ces avantages, il est important de continuer à former le personnel et à assurer une maintenance régulière et préventive des systèmes automatisés.

Pour l'avenir, plusieurs perspectives prometteuses peuvent être envisagées pour notre station. L'intégration de technologies avancées telles que l'intelligence artificielle et l'Internet des objets (IoT) pourrait améliorer encore davantage l'efficacité et la réactivité des systèmes de pompage. De plus, la mise en œuvre de stratégies de maintenance prédictive, basée sur

l'analyse de données en temps réel, pourrait prévenir les défaillances et réduire les temps d'arrêt, optimisant ainsi la disponibilité et la performance du système.

Pour conclure, ce projet a instauré des fondements solides en matière d'automatisation et de régulation de notre station de pompage. Les perspectives technologiques futures ouvrent des opportunités passionnantes pour continuer à améliorer et à optimiser ces systèmes, garantissant ainsi une gestion durable et efficace des ressources hydrauliques. Grâce à ce projet, nous avons acquis de nouvelles compétences, notamment en programmation, en supervision et en régulation, tout en nous familiarisant avec le milieu professionnel.

Bibliographie

Références

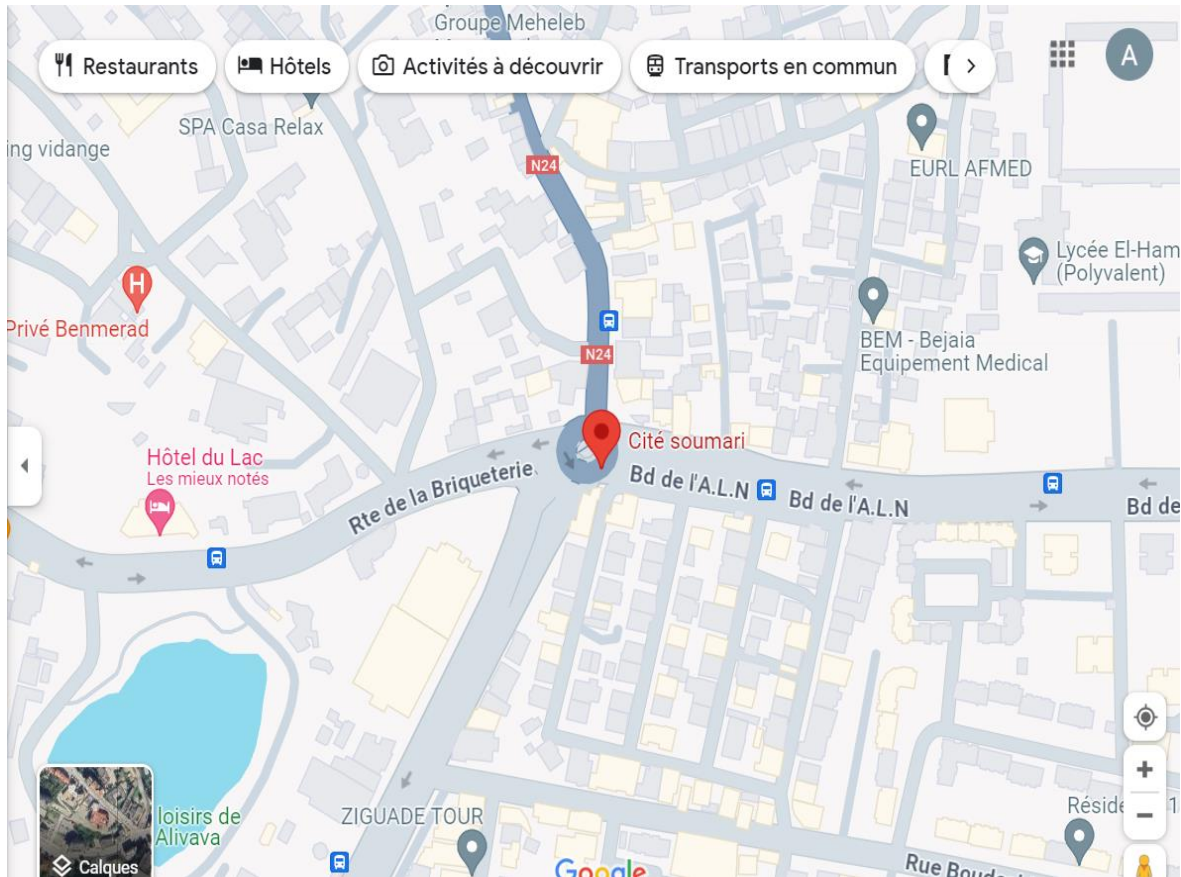
- [1] « <https://abin.es/fr/4-stations-de-pompage> ».
- [2] BELKIRI Yacine et BENKRROU Nouredine, « Automatisation et supervision d'une station de pompage et de distribution d'eau traitée à la SARL IFRI », Université ABDERRAHMEN MIRA BEJAIA, 2016.
- [3] Bachouti Yacer et Bouhoun Slimane Abd Mouhaimen, « Automatisation et télégestion d'une station de pompage », université SAADA DAHLAB, BLIDA, 2018.
- [4] AROUIL Lamine et BESSAA Youcef, « étude et automatisation d'une station de pompage à eau potable », Université ABDERRAHMEN MIRA, BEJAIA, 2018.
- [5] HAMITOUCHE Nazim et AZIRI Yacine, « Automatisation d'un système hybride d'alimentation d'une station de pompage », ABDERRAHMEN MIRA BEJAIA, 2019.
- [6] SAIDOUN Abdsamed et ZABOUT Taous, « Automatisation et supervision d'une station de pompage et distribution d'eau à la S.N.V.I », Université MOULOUD MAMMER, TIZI OUAZOU, 2018.
- [7] « Station de pompage (HU) - Wikhydro (developpement-durable.gouv.fr) ».
- [8] « Les stations de pompage (STEP) - Encyclopédie de l'énergie (encyclopedie-energie.org) ».
- [9] « Developpement d'un outil de supervision d'une station de pompage -... - Librairie Eyrolles ».
- [10] « Commande des stations de pompage des eaux usées | Phoenix Contact ».
- [11] « The world's first wastewater pumping system with integrated intelligence | Xylem Algérie ».
- [12] « Les systèmes de pompage solaire : avantages et fonctionnement - Serelio ».
- [13] « Le Pompage Solaire Sujets - Rural Water Supply Network (rural-water-supply.net) ».
- [14] « <https://www.primrose.fr/pompe-solaire-1200lh-avec-leds-batterie-secours-par-solaray-p-119337.html> », Consulté le : 10 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.primrose.fr/pompe-solaire-1200lh-avec-leds-batterie-secours-par-solaray-p-119337.html>
- [15] « [Pumping_fra_print_REV3.pdf \(abb.com\)](#) ».
- [16] « ABB et PEME-GOURDIN optimisent l'efficacité énergétique des stations de pompage d'une grande ville française ».
- [17] « Les stations de pompage (STEP) - Encyclopédie de l'énergie (encyclopedie-energie.org) ».
- [18] « [Flygt-SPM-1402-.pdf \(motralec.com\)](#) ».
- [19] Alain GONZAGA, *les automates programmables industriel*. 2004.
- [20] HATRAF Lahcene Mohamed Amine et TOUZALA Abderrahmane, « Automatisation et supervision d'une Station de remplissage des Bouteilles », Université Dr. Tahar Moulay, Saïda, 2019.

- [21] « Manuel système d'automatisation S7-300 caractéristique de modules 2013 », Consulté le : 14 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur : https://cache.industry.siemens.com/dl/files/629/8859629/att_55796/v1/s7300_module_data_manual_fr-FR_fr-FR.pdf
- [22] Hans Berger, *Automating with SIMATIC*, Second edition. 2003.
- [23] *AUTOMATISME G. Boujat, J.P. Pesty Collection A. Capliez.*
- [24] JOEL.M. ZINSALO, « pompes et stations de pompage », université d'abomeycalavi.
- [25] « https://www.citec.fr/cbx/_ftp/808-01-generalites-transmetteurs.pdf », Consulté le : 27 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur : https://www.citec.fr/cbx/_ftp/808-01-generalites-transmetteurs.pdf
- [26] Sghaier.N et Mbarek.M, *Structure des circuits de commande et de puissance*. 2014.
- [27] « RAHMANI Allaoua, Polycopié de Cours Schémas et Appareillages ».
- [28] A lamin et B Youcef, « étude et automatisation d'une station de pompage à eau potable », Abderrahmane Mira, Bejaia, 2018.
- [29] « Industry Support Siemens, "Variateur SINAMICS V20", Instructions de service, DATASheet, 2013 », Consulté le : 27 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur : https://cache.industry.siemens.com/dl/files/311/109738311/att_885298/v1/v20_getting_started_400v__230v_fr-FR_fr-FR.pdf
- [30] MOSBAHI Hider et RABAHI Alia, « Etude et simulation d'un variateur de vitesse Pour un moteur asynchrone triphasé », KASDI Merbah, Ouargla, 2020.
- [31] « document technique SIMATIC HMI WinCC flexible », 2008.
- [32] K. j Åström et T. Hägglund, « Advanced PID control. ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society. », 2006.

Annexe

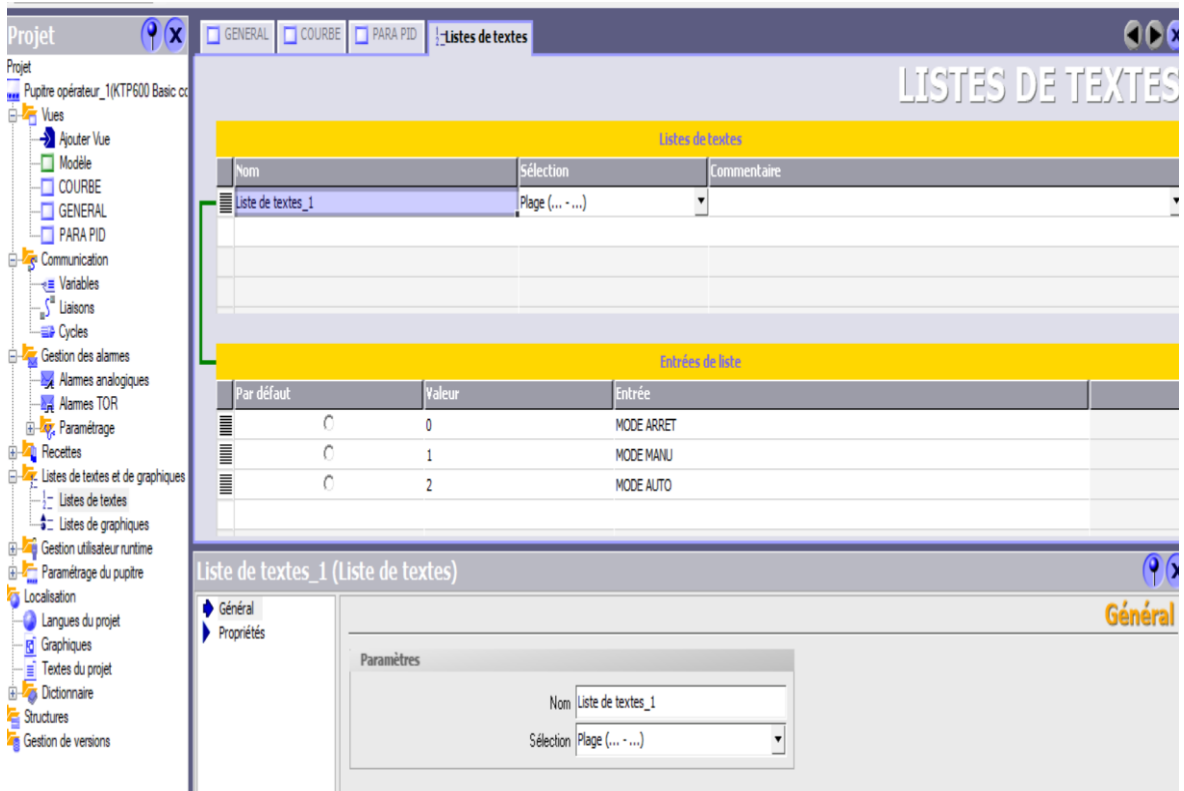
Annexe 1 : Localisation de l'école de formation BI ENGINEERING TECH de Bejaia

Est un établissement de formation professionnelle situé à cite soumari Bejaia, offre de multiple formation en génie électrique, mécanique et en informatique.



Annexe :2

Nous disposons de trois modes de fonctionnement : automatique, manuel et arrêt. En mode arrêt notre station de pompage est complètement inactive. En mode manuel c'est l'opérateur qui contrôle la station. En mode automatique c'est le programme qui gère le fonctionnement. Nous avons développé un programme pour notre station avec une consigne définie, et le régulateur s'efforce en permanence de maintenir la consigne désirée. La figure ci-dessous représente les modes de fonctionnement que nous avons intégré de notre pupitre.



Annexe 3

Caractéristiques de la pompe

La figure ci-dessous illustre les caractéristiques de la pompe utilisée de notre station de pompage.



Annexe 4

Identification de la fonction de transfert en utilisant le model de Broïda

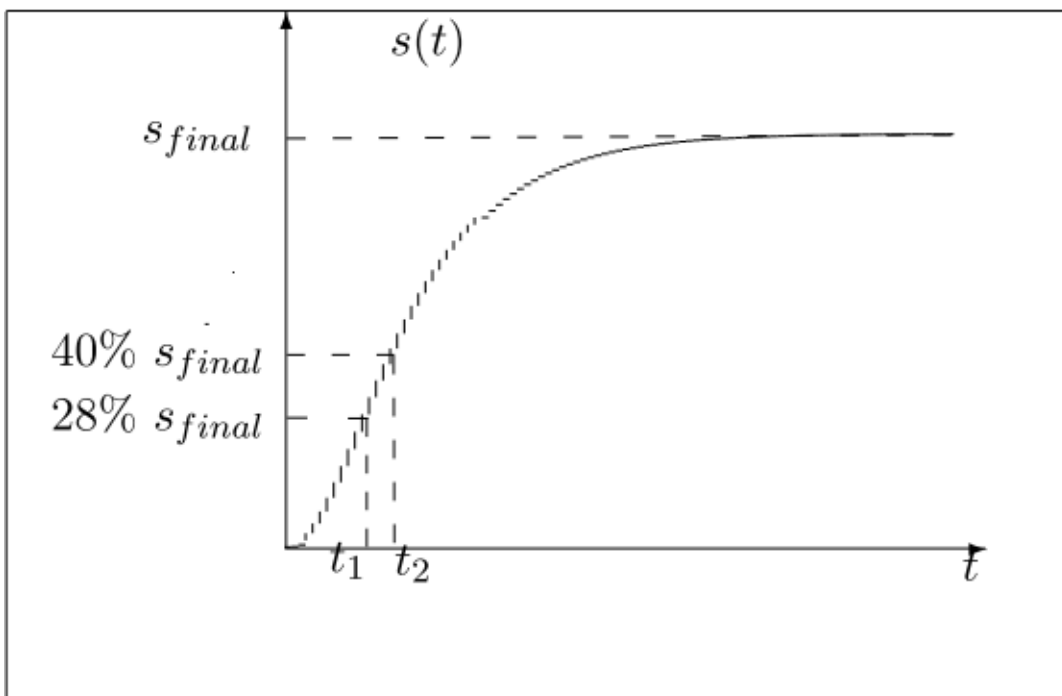
La méthode de Broïda est une approche spécifique de l'identification des systèmes dynamiques, utilisée principalement dans le domaine du contrôle et de la modélisation des systèmes. Elle vise à considérer les paramètres d'un modèle mathématique (souvent exprimé sous forme de fonction de transfert) de manière à ce que la réponse du modèle corresponde étroitement à la réponse réelle du système. Cette méthode implique généralement l'utilisation d'algorithmes d'optimisation pour ajuster les paramètres du modèle afin de minimiser l'écart entre la réponse simulée et la réponse enregistrée du système. L'objectif final est d'obtenir un modèle précis qui puisse être utilisé pour la conception et l'analyse de systèmes de

contrôle à partir de cette formule $\mathbf{G} = \frac{ke^{-\tau s}}{1+Ts}$

Avec :

$$T = 5.5 (t_2 - t_1)$$

$$r = 2.8 (t_1) - 1.8 (t_2)$$



Résumé

Les stations de pompage jouent un rôle essentiel dans divers domaines. Ce mémoire se concentre sur le Développement d'une station d'expérimentation pour l'automatisation et la surveillance en temps réel d'un système de pompage.

Notre travail a principalement consisté à programmer la station à l'aide de Step 7 et à la surveiller à l'aide du logiciel WinCC flexible. Pour l'améliorer encore, nous avons ajouté un système, de régulation utilisant un régulateur PID.

Les Mots clés : pompe, régulateur PID, vanne, capteur.

ملخص

ان محطات الضخ تلعب دورا اساسيا في مختلف المجالات. يركز هذا البحث على تطوير محطة تجريبية لأتمتة ومراقبة نظام الضخ في الوقت الحقيقي. يتعلق عملنا بشكل اساسي على برمجة المحطة باستخدام Step 7 وتمت مراقبتها بواسطة برنامج winCC flexible. ولتحسينها أكثر، أضفنا نظام تنظيم باستخدام منظم PID. الكلمات المفتاحية: مضخة، منظم PID، صمام، جهاز استشعار.

Abstract

Pumping stations play an essential role in various fields. This thesis focuses on the development of an experimental station for the automation and real-time monitoring of a pumping system.

Our work mainly involved programming the station using Step 7 and monitoring it using WinCC flexible software. To further improve it, we added a control system using a PID controller.

Keywords: Pump, PID controller, valve, sensor.