



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

UNIVERSITE IBN KHALDOUN

Faculté des SCIENCES APPLIQUEES

Département Génie Electrique

Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et informatique industrielle

THEME



**Association du Android-S7 1200 dans
l'automatisation de la distribution de l'eau.**



Présentés par :

- Mr. BENYAMINA Amir Khaled
- Mr. BENMOUMENE Mohamed Nadir

Devant le jury composé de :

Houari BENABID

Laid BESSOLTANE

Ahmed TAHRI

Hamid BOUMEDIENE

Said HASSAINE

Président

Examineur

Examineur

Encadrant

Co-Encadrant

Année universitaire :2023/2024

REMERCIEMENTS

Nous remercions, en premier lieu, ALLAH qui nous 'a donné ce bien là pour que nous vive ce jour, ALLAH qui nous 'a donné la force et la patience pour terminons ce travail

Nous voudrions tout d'abord remercier vivement nos encadrants, Dr. Boumediene A. Hamid et Dr. HASSANE Said, qui ont manifesté leur entière disponibilité pour nous aider et nous orienter. Nous tenons également à les remercier pour la confiance et la compréhension qu'ils nous ont toujours témoignées.

Nous voudrions remercier également tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier les responsables et tout le personnel du département de L'électricité pour les facilités qu'ils nous accordés pour parfaire ce travail.

Ce travail de mémoire que nous avons effectué doit beaucoup à certaines personnes que nous tenons à remercier sincèrement.

Enfin, nous remercier toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie ce modeste travail

A ma famille et surtout mes parents, la source de tendresse, de noblesse et d'affection, qui apporté un énorme soutien matériel et moral.

À tous mes chères frères et sœurs et mes amies

A tous mes collègues de promotion avec qui j'avais partagé des moments inoubliables tout au long de ces années d'étude

A Dr. BENOUADAH

Enfin, mais non des moindres, Je veux me remercier de croire en moi, je veux me remercier d'avoir fait tout ce travail acharné. Je veux me remercier de n'avoir pris aucun jour de congé. Je veux me remercier de n'avoir jamais abandonné. Je veux me remercier d'avoir toujours été généreux et d'essayer de donner plus que je ne reçois. Je veux me remercier d'essayer de faire plus de bien que de mal. Je veux me remercier d'être moi-même en toutes circonstances.

Merci à tous

Amir Khaled Benyamina

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie ce modeste travail

A ma famille et surtout mes parents, la source de tendresse, de noblesse et d'affection, qui apporté un énorme soutien matériel et moral.

À tous mes chères frères et sœurs et mes amies

A tous mes collègues de promotion avec qui j'avais partagé des moments inoubliables tout au long de ces années d'étude

Merci à tous

Mohammed Nadir Benmoumene

Liste d'abréviations :

PLCSIM	LE LOGICIEL DE SIMULATION D'AUTOMATE SIEMEN
PID	PROPORTIONNELINTEGRAL-DERIVEE
PLC	PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER
SIMATIC	SIEMENS AUTOMATIC
TIA PORTAL	TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL
TOR	TOUT OU RIEN
V15	VERSION 15
WINCC	WINDOWS CONTROL CENTER
IP	INTERNET PROTOCOL
S7	SEPT POINT
TCP	TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL
IO	INPUT/OUTPUT
ACS	PROGRAMME DE COMMANDE STANDARD
PN/IE	PROFINET/INDUSTRIEL ETHERNET.
IHM	INTERFACE HOMME/MACHINE
DP	DEDICATED PROTOCOLS (PROFIBUS DP)
OB	BLOC D'ORGANISATION.
FB	BLOC FONCTIONNEL
DB	BLOCS DE DONNEES
PROFINET	PROCESS FIELD NETWORK
E/S	ENTREE / SORTIE.
CPU	UNITE CENTRALE DE L'AUTOMATE (CENTRALPROCESSING UNIT).
API	AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL
PROFIBUS	PROCESS FIELD BUS
RDP	RESEAU DE PETRI
RDPH	RESEAU DE PETRI HYBRIDE
SED	SYSTEM A ÉVENEMENT DISCRET
SDH	SYSTEM DYNAMIQUE HYBRIDE

Liste des figures

CHAPITR 01

Figure I-1 Système générale	4
Figure I-2 prototype.....	5
Figure I-3L'armoire électrique	6
Figure I-4Disjoncteur de protection moteur CHNT NS2-25	7
Figure I-5Disjoncteur de protection moteur CHNT NS2-25	8
Figure I-6Convertisseur de fréquence ABB ACS 150	9
Figure I-7Convertisseur AC / DC, 220 V / 24 V	11
Figure I-8Relai G2R-2-SND	11
Figure I-9API et IHM (Panneau de formation)	12
Figure I-10La plaque signalétique.....	13
Figure I-11Electrovanne	15
Figure I-12Réservoir	15
Figure I-13Modem.....	16
Figure I-14Capteur de niveau	16

CHAPITR 02

Figure II. 1 Représentation générale d'un système commandé	20
Figure II. 2 system dynamique hybride	22
Figure II. 3 un réseau de pétri.....	24
Figure II. 4 Marquage.....	24
Figure II. 5Franchissement d'une transition.....	25
Figure II. 6 Transition non franchissable.....	25
Figure II. 7Transition source	25
Figure II. 8Transition puits.....	26
Figure II. 9Réseau de pétri hybride	28
Figure II. 10Influence de la partie discrète sur la partie continue	29
Figure II. 11Influence de la partie continue sur la partie discrète	29
Figure II. 12Partage de ressource	29
Figure II. 13 Model de réseau de pétri hybride pour notre prototype.....	31

CHAPITR 03

Figure III. 1 Blocs de Structure de programme	32
Figure III. 2 Réseau O1	32
Figure III. 3 Réseau O2	33
Figure III. 4 Réseau O3	33
Figure III. 5 Bloc de fonction (FB2).....	34
Figure III. 6 Table de variables standard.....	34
Figure III. 7 Bloc de données	35
Figure III. 8 Vue général du system en mode automatique.....	35
Figure III. 9 Vue général du system en mode.....	36
Figure III. 10Vue général du system en mode(clic)	36
Figure III. 11 Vu paramètres	37
Figure III. 12 Vu graphes	37
Figure III. 13 l'icône de l'application androïde sm@rtcleint	38
Figure III. 14 configuration de l'application	39
Figure III. 15 Configuration PLC	39
Figure III. 16 Vu IHM sur sm@rt cleint.....	40
Figure III. 17Résultats de simulation	40

Sommaire

I	CHAPITRE 01 : FONCTIONNALITES ET ARCHITECTURE	3
1	INTRODUCTION :	4
2	PRESENTATION D'UN SYSTEME D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE	4
3	PRESENTATION DU NOTRE PROTOTYPE	4
3.1.	<i>Composition de l'armoire électrique</i>	6
3.1.1.	Disjoncteurs de protection	6
	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU DISJONCTEUR CHNT NS2-25	6
	AVANTAGES DU DISJONCTEUR CHNT NS2-25	7
3.1.2.	Variateur de vitesse ABB ACS 150(convertisseur de fréquence)[3]	8
3.1.3.	Convertisseur AC / DC, 220 V / 24 V :	10
3.1.4.	Relai G2R-2-SND [4]	11
3.2.	<i>API et IHM</i>	12
3.3.	<i>Pompe</i>	13
3.4.	<i>Electrovanne</i>	14
3.5.	<i>Réservoir</i>	15
3.6.	<i>Modem</i>	15
3.7.	<i>Capteur de niveau</i>	16
II.	CHAPITRE 02 : MODELISATION PAR RESEAUX DE PETRI HYBRIDE	19
1	INTRODUCTION	20
2	LES SYSTEMES :	20
2.1.	<i>Définitions des systèmes</i> :	20
2.2.	<i>Classification des systèmes dynamiques</i>	21
2.2.1.	Systèmes dynamiques continus	21
2.2.2.	Les systèmes dynamiques à évènement discrets[7]	21
2.2.3.	Les systèmes dynamiques hybrides[8]	22
3	MODELISATION	22
4	RESEAU DE PETRIE	23
4.1.	<i>Introduction</i>	23
4.2.	<i>Outil de modélisation</i>	24
4.3.	<i>RDP discret</i>	24
4.4.	<i>Les réseaux de Pétri continus [10]</i>	27
4.4.1.	Le RdP continu à vitesse constante	27
4.4.2.	Le RdP continu à Vitesses Variables	27
4.4.3.	4.3. Le RdP continu Asymptotique	27
4.4.4.	Le RdP continu à Vitesses Fonction du Temps	28
4.4.5.	Les RdP continus temporisés	28
4.5.	<i>Les Réseaux de Petri Hybrides [10]</i>	28
4.5.1.	L'influence de la partie discrète sur la partie continue	29
4.5.2.	L'influence de la partie continue sur la partie discrète	29
4.5.3.	Partage de ressource	29
5	NOTRE MODEL	30
5.1.	<i>Éléments du Réseau de Petri Hybride</i>	30
5.2.	<i>Dynamique du Système</i>	30
5.3.	<i>Modélisation du Réseau de Petri Hybride</i>	30
III.	CHAPITRE 03 : CONTROLE A DISTANCE ET VISUALISATION DES PERFORMANCES	31
1	INTRODUCTION	32
2	CAHIER DE CHARGE	32
3	PARTIE PROGRAMMATION	32
3.1.	<i>Structure de programme</i>	32
3.1.1.	Bloc d'organisation OB1 :	32
3.2.	<i>Bloc de fonctions</i>	33
3.3.	<i>Table de mnémoniques</i>	34
3.4.	<i>Blocs de données « DB »</i>	35
4	PARTIE SIMULATION	35
4.1.	<i>Vue de système IHM</i>	35
4.2.	<i>Communication avec l'application</i>	38
4.2.1.	Présentation de l'application Smart Client de Siemens	38
4.2.2.	Configuration de l'application	38
4.2.3.	Configuration sur Tia portale	39
5	RESULTATS :	40
	CONCLUSION GENERALE	42
	BIBLIOGRAPHIE :	

Introduction générale

Introduction Générale

Face aux défis croissants liés à l'accès à l'eau potable, notre travail de fin d'étude propose un système automatisé de contrôle de niveau d'eau, couplé à une plateforme de supervision et à une modélisation par réseaux de Petri hybride (RPH). Ce système, conçu pour répondre aux besoins spécifiques de la région d'étude, vise à optimiser la distribution d'eau, à réduire les pertes et à améliorer la qualité de l'eau fournie aux populations.

L'analyse des besoins et la définition des objectifs ont permis de cerner les enjeux majeurs de la distribution d'eau dans la région et de définir les fonctionnalités attendues du système automatisé et de la plateforme de supervision. La conception du système automatisé a nécessité le choix rigoureux des composants (électrovanne, IHM, réseau PROFINET), leur dimensionnement, la définition des paramètres de fonctionnement et la conception de l'architecture logicielle du système de contrôle.

La modélisation par RPH s'est avérée être un outil précieux pour comprendre le comportement dynamique complexe du système de contrôle de niveau d'eau, en tenant compte des interactions entre les différents composants et des signaux discrets et continus qui gouvernent le système. Cette modélisation a permis de simuler le système dans différentes conditions, d'identifier les points critiques et d'optimiser les performances du système de contrôle.

Le développement de la plateforme de supervision, réalisée à l'aide de TIA PORTAL V15, a permis de concevoir une interface homme-machine intuitive et conviviale pour le suivi des données en temps réel, la gestion des alarmes et la commande du système. L'application Android associée offre une solution de commande à distance flexible et accessible.

Les tests et simulations rigoureux du système automatisé et de la plateforme de supervision ont permis de valider les performances du système et de garantir son bon fonctionnement dans différentes conditions d'utilisation. L'analyse des résultats obtenus a mis en lumière les avantages significatifs du système proposé en termes d'optimisation de la distribution d'eau, de réduction des pertes et d'amélioration de la qualité de l'eau.

Finalement, ce travail de fin d'étude démontre le potentiel de l'association entre supervision industrielle et modélisation RPH pour concevoir des systèmes de distribution d'eau performants, durables et répondant aux enjeux actuels d'accès à l'eau potable pour tous. Le système automatisé et la plateforme de supervision développés constituent une contribution précieuse à la gestion optimisée des ressources hydriques et à l'amélioration de l'accès à l'eau potable dans les zones défavorisées.

Etat de l'art :

Tiaret est une wilaya qui compte plus d'un million d'habitants. Cette wilaya dispose d'infrastructures et de ressources dans tous les domaines (transport, hydraulique, santé, etc.). En ce qui concerne les ressources en eau, la wilaya de Tiaret dispose de deux grands barrages en exploitation : le barrage de Bakhadda et le barrage de Dahmouni. Le barrage de Bakhadda a une capacité de 39,94 hm³ et affiche un taux de remplissage moyen de 67.1% [01/01/2020 au 01/11/2023]. Le barrage de Dahmouni a une capacité de 39,52 hm³ et son taux de remplissage moyen est de 56.3% [01/01/2020 au 01/11/2023]. Ces barrages jouent un rôle crucial dans la gestion de l'eau dans la région.

Cependant, malgré ces ressources, la wilaya de Tiaret fait face à des défis majeurs en matière de distribution d'eau. Depuis la fin de l'année 2023, la région connaît des perturbations dans la distribution de l'eau, affectant la vie quotidienne de ses habitants. Les coupures d'eau, parfois longues et inopinées, sont devenues le lot quotidien des habitants de Tiaret. Cette situation affecte non seulement le confort de vie des citoyens mais également l'hygiène publique et l'activité économique locale. Les hôpitaux, les écoles et les commerces sont également touchés par ces perturbations, ce qui aggrave les conséquences de cette crise.

Parmi les facteurs à l'origine des perturbations dans la distribution de l'eau, les systèmes traditionnels, qui reposent largement sur l'intervention humaine, sont confrontés à de nombreux défis. La gestion manuelle de ces systèmes peut provoquer des fuites, du gaspillage d'eau, des fluctuations de pression et des interruptions de service, qui peuvent être attribuées à des erreurs humaines, des défaillances matérielles ou des événements imprévus. L'absence d'automatisation dans le processus de distribution de l'eau potable se révèle être un facteur clé. En effet, l'infrastructure vieillissante et la gestion manuelle des réseaux de distribution contribuent largement aux inefficacités et aux pertes d'eau significatives observées.

La résolution de la crise de l'eau à Tiaret doit passer par une modernisation des infrastructures et l'adoption de solutions technologiques modernes pour la gestion des réseaux de distribution. L'automatisation des processus, la mise en place de systèmes de télésurveillance et la sensibilisation des citoyens aux enjeux de la préservation de la ressource en eau sont des actions clés à mener pour garantir un accès à l'eau potable de qualité et en quantité suffisante pour tous.

I CHAPITRE 01 : Fonctionnalités et architecture

1 Introduction :

Ce chapitre se concentrera sur le système de contrôle de niveau d'eau, en particulier sur notre système automatisé. Nous détaillerons les composants du système, leur fonctionnement et les avantages de l'automatisation dans ce domaine.

2 PRESENTATION D'UN SYSTEME D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Notre objectif étant l'élaboration d'un prototype permettant de réaliser un modèle pour le contrôle et la commande de la fluctuation du stock d'eau dans un château d'eau du parc à forage. Pour cela, on se propose de déterminer la dynamique de l'eau dans le château d'eau.

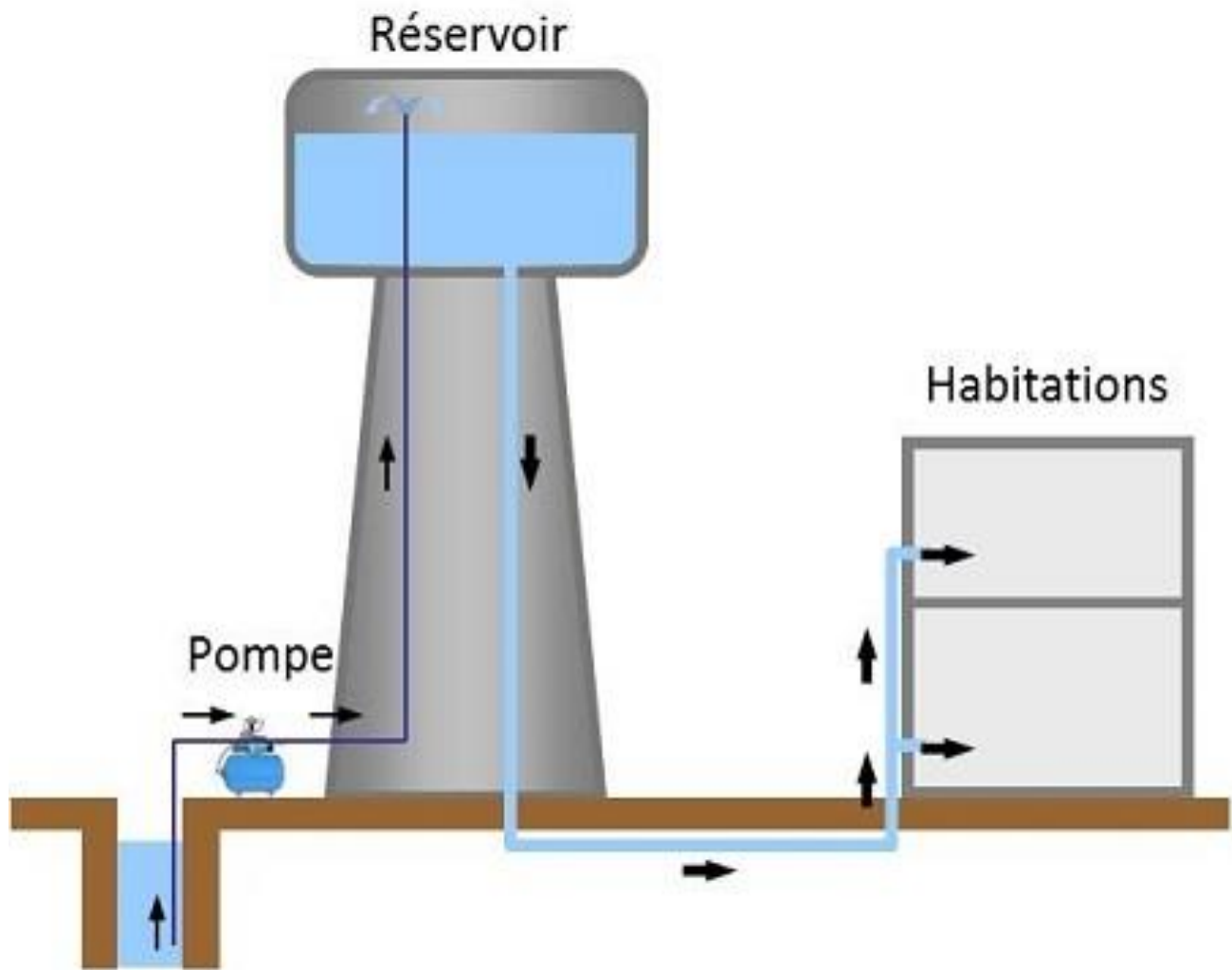


Figure I-1 Système générale

3 Présentation du notre prototype

Le prototypage représente une approche méthodologique robuste pour l'exploration et la compréhension de systèmes complexes. En élaborant un modèle réduit du système réel, le prototypage facilite la visualisation des interactions entre les divers composants du système. Il permet également de tester différentes configurations et scénarios opérationnels tout en identifiant les points de défaillance potentiels. Cette méthode est essentielle pour évaluer l'impact des modifications de conception sur la performance du système.

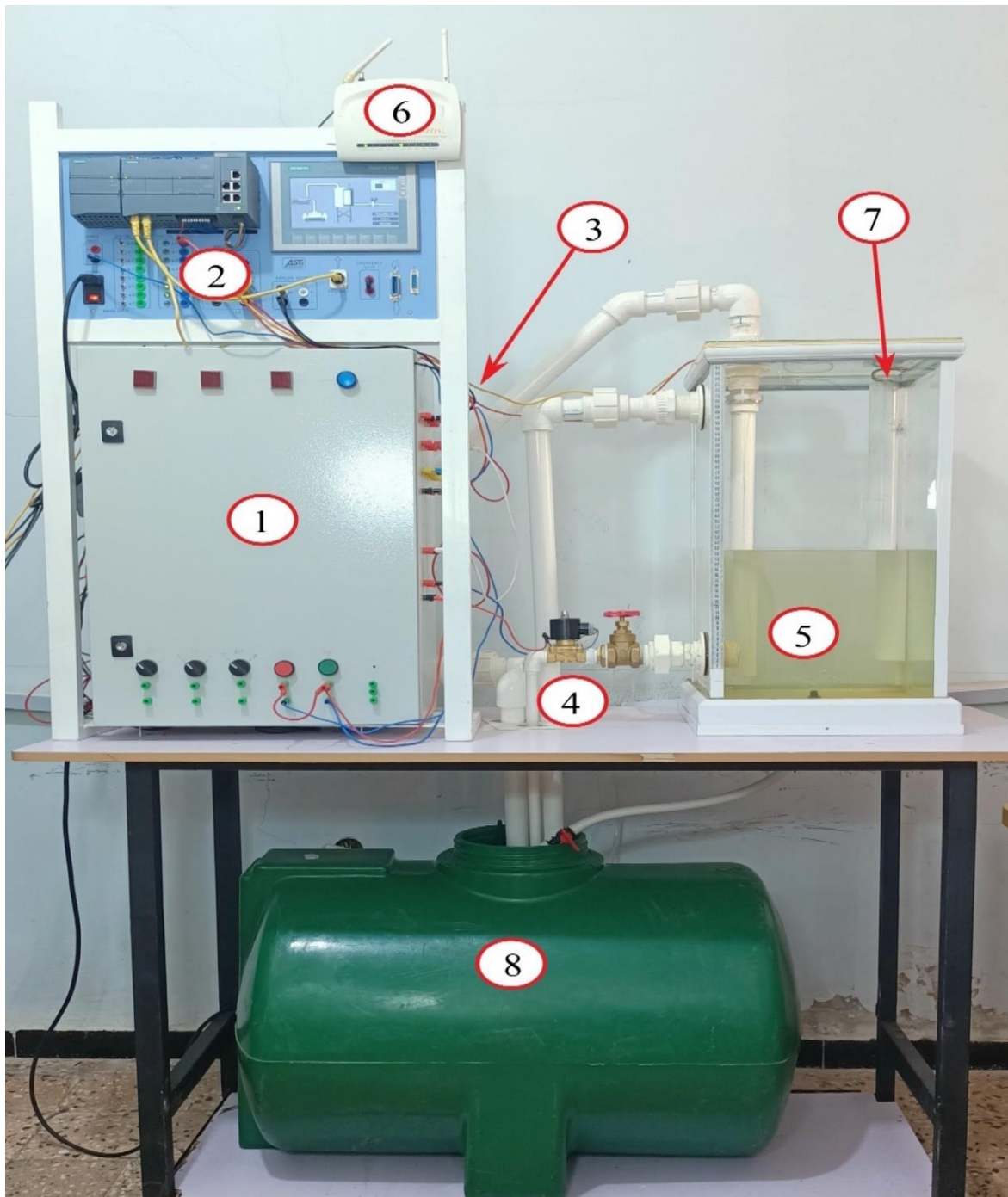


Figure I-2 prototype

Dans le cadre de nos recherches, nous avons développé un prototype de système d'approvisionnement en eau potable à partir d'un forage vers les habitations. Ce prototype s'inspire des systèmes réels existants, tout en intégrant des innovations pour améliorer son efficacité et sa durabilité

1. Armoire électrique
2. API et IHM
3. Pompe
4. Electrovanne
5. Réservoir
6. Modem
7. Capteur de niveau

8. Source d'eau

3.1. Composition de l'armoire électrique

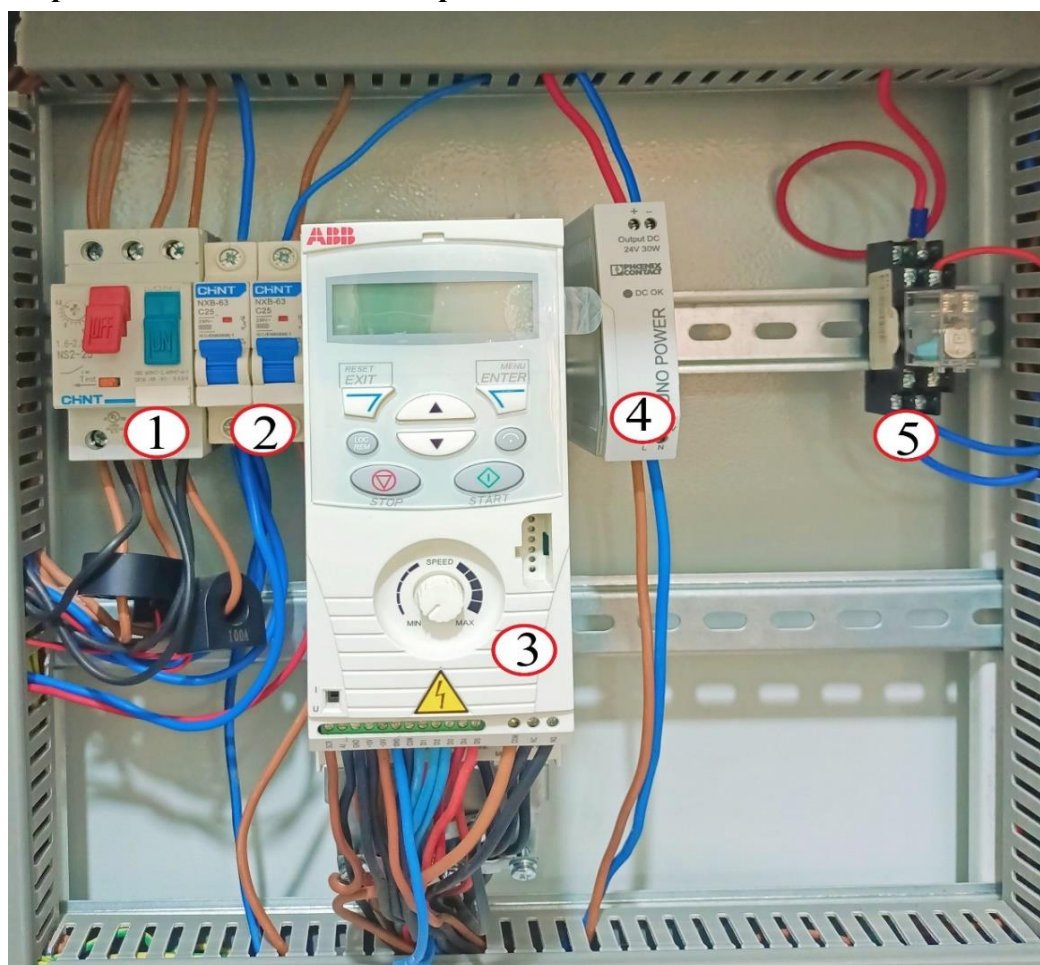


Figure I-3L'armoire électrique

3.1.1. Disjoncteurs de protection

3.1.1.1. -Disjoncteur de protection moteur CHNT NS2-25 [1]

Le disjoncteur de protection moteur CHNT NS2-25 est un appareil électrique conçu pour protéger les moteurs électriques contre les surcharges et les courts-circuits. Il fonctionne en surveillant le courant consommé par le moteur. Si le courant dépasse le courant de déclenchement thermique ou magnétothermique, le disjoncteur se déclenche et coupe l'alimentation du moteur.

Caractéristiques principales du disjoncteur CHNT NS2-25

Le disjoncteur de protection moteur CHNT NS2-25 est un appareil électrique conçu pour protéger les moteurs électriques contre les surcharges et les courts-circuits. Il fonctionne en surveillant le courant consommé par le moteur. Si le courant dépasse le courant de déclenchement thermique ou magnétothermique, le disjoncteur se déclenche et coupe l'alimentation du moteur.

- **Calibre** : 25 ampères (A)
- **Tension de fonctionnement** : 230/400 volts (V)
- **Pouvoir de coupure** : 750 ampères (A)
- **Type de déclenchement** : Thermique et magnétothermiques
- **Réglage du courant de déclenchement thermique** : 1,6 à 25 A
- **Réglage du courant de déclenchement magnétothermiques** : 5 à 32 fois le courant de déclenchement thermique

- **Degré de protection** : IP20
- **Température de fonctionnement** : -5°C à +40°C
- **Dimensions** : 85 x 45 x 35 millimètres (mm).

Avantages du disjoncteur CHNT NS2-25

- Protection efficace contre les surcharges et les courts-circuits
- Facile à installer et à utiliser
- Compact et robuste
- Prix abordable



Figure I-4 Disjoncteur de protection moteur CHNT NS2-25

3.1.1.2. Disjoncteur miniature CHNT NXB-63 C25[2]

1. Le disjoncteur miniature CHNT NXB-63 C25 est un appareil électrique conçu pour protéger les circuits électriques contre les surcharges et les courts-circuits. Il fonctionne en surveillant le courant circulant dans le circuit. Si le courant dépasse le courant de déclenchement thermique ou magnétothermique, le disjoncteur se déclenche et coupe l'alimentation du circuit.

Caractéristiques principales du disjoncteur CHNT NXB-63 C25 :

- **Calibre** : 25 ampères (A)
- **Tension de fonctionnement** : 230/400 volts (V)
- **Pouvoir de coupure** : 6 000 ampères (A)
- **Type de déclenchement** : Thermique et magnétothermiques
- **Réglage du courant de déclenchement thermique** : 1,3 à 25 A
- **Réglage du courant de déclenchement magnétothermiques** : 5 à 13 fois le courant de déclenchement thermique
- **Degré de protection** : IP20
- **Température de fonctionnement** : -5°C à +40°C
- **Dimensions** : 70 x 36 x 27.5 millimètres (mm)

Avantages du disjoncteur CHNT NXB-63 C25 :

- Protection efficace contre les surcharges et les courts-circuits
- Facile à installer et à utiliser
- Compact et robuste
- Prix abordable



Figure I-5 Disjoncteur de protection moteur CHNT NS2-25

3.1.1.3. Comment choisir les disjoncteurs protection :

Lors du choix d'un disjoncteur miniature ou d'un disjoncteur de protection moteur, il est important de prendre en compte les facteurs suivants :

Le calibre du disjoncteur doit être supérieur au courant nominal du circuit.

La tension de fonctionnement du disjoncteur doit être compatible avec la tension d'alimentation du circuit.

Le type de déclenchement du disjoncteur doit être adapté à l'application.

Les réglages du courant de déclenchement thermique et magnétothermiques doivent être correctement réglés.

3.1.2. Variateur de vitesse ABB ACS 150 (convertisseur de fréquence)[3]

Le convertisseur de fréquence ABB ACS150 est un appareil électronique qui permet de contrôler la vitesse et le couple d'un moteur électrique triphasé asynchrone, il reçoit une tension d'alimentation alternative (AC) du réseau électrique. Il convertit ensuite cette tension en une tension continue (DC) qui est utilisée pour alimenter l'onduleur. L'onduleur génère ensuite une tension alternative (AC) variable en fréquence et en amplitude, qui est appliquée au moteur électrique.

En contrôlant la fréquence et l'amplitude de la tension de sortie, le convertisseur de fréquence ACS150 peut contrôler la vitesse et le couple du moteur électrique.

Avantages :

- **Amélioration de l'efficacité énergétique :** permet d'optimiser la vitesse du moteur en fonction de la charge, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie.
- **Augmentation de la durée de vie du moteur :** permet de réduire les contraintes mécaniques sur le moteur, ce qui augmente sa durée de vie.
- **Amélioration du contrôle du processus :** de contrôler la vitesse du moteur avec précision, ce qui est important pour de nombreuses applications industrielles.
- **Réduction du bruit :** permet de réduire le bruit du moteur, ce qui peut améliorer l'environnement de travail.



Figure I-6 Convertisseur de fréquence ABB ACS 150

1. Affichage LCD
2. MENU/ENTER - accès aux fonctions des menus.
3. RESET/EXIT – Accès à la fonction suivante des menus sans valider une valeur réglée
4. DIR – Inversion du sens de rotation moteur
5. LOC/REM – Commutation entre la commande locale et à distance
6. START – Démarrage du variateur en commande locale
7. STOP – Arrêt du variateur en commande locale
8. Raccordement Flash Drop
9. Potentiomètre intégré
10. Borniers E/S
11. Sélecteur de signal d'entrée analogique (U/I)
12. Vis de mise à la terre des varistances (VAR)
13. Vis de mise à la terre du filtre RFI (EMC)

Réglage de variateur

Avant de prendre toute mesure, nous devons définir les paramètres par défaut du convertisseur de fréquence et nous assurer qu'ils correspondent aux spécifications requises pour le moteur. Vous pouvez accéder à ces paramètres via l'interface utilisateur de l'adaptateur

Saisie des données d'initialisation : [3]

Paramètre	Réglage
9902	Sélectionnez-le macro programme
9905	Tension nominale moteur
9906	Courant nominal moteur
9907	Fréquence nominale moteur
1105	La valeur maxi de la référence
2008	La limite maxi de fréquence de sortie du variateur
2102	Sélectionnez le mode d'arrêt du moteur

Tableau 1 données d'initialisation

3.1.3. Convertisseur AC / DC, 220 V / 24 V :

Alimentation à découpage Phoenix Contact 2902991 UNO-PS/1AC/24DC/30W

Le Phoenix Contact 2902991 UNO-PS/1AC/24DC/30W est une alimentation à découpage conçue pour fournir une tension continue (DC) régulée à partir d'une alimentation en courant alternatif (AC). Il appartient à la gamme UNO POWER de Phoenix Contact, destinée aux applications d'automatisation industrielle nécessitant une alimentation électrique basique.

L'alimentation à découpage convertit l'alimentation en courant alternatif (AC) de la prise murale en une tension continue (DC) régulée à 24V. Cette tension continue est ensuite fournie aux charges connectées, telles que des automates programmables (PLC), des capteurs et d'autres appareils électroniques nécessitant une alimentation électrique stable.

Caractéristiques principales :

- **Type d'alimentation** : À découpage (haute efficacité)
- **Entrée** : Monophasée AC 85-264V (courant alternatif)
- **Sortie** : 24V DC (courant continu) à 1.25A (ampères) - Puissance de sortie maximale 30W (watts)
- **Montage** : Rail DIN (installation facile sur rail standardisé)
- **Refroidissement** : Convection naturelle (pas de ventilateur nécessaire)
- **Rendement énergétique élevé**
- **Protection contre les courts-circuits, les surcharges et les surchauffes**
- **Voyant d'état LED**

Avantages :

- **Taille compacte** pour un gain de place dans les armoires électriques.
- **Facilité d'installation** grâce au montage sur rail DIN.
- **Haute efficacité énergétique** permettant de réduire les coûts de fonctionnement.

- **Fiabilité et robustesse** adaptées aux environnements industriels.



Figure I-7 Convertisseur AC / DC, 220 V / 24 V

3.1.4. Relai G2R-2-SND [4]

Le relai G2R-2-SND d'Omron est un relai de puissance généraliste conçu pour une utilisation dans une large gamme d'applications industrielles. Il est doté d'un contact DPDT (double inverseur) qui permet de commuter deux circuits indépendants. Le relai est disponible avec une bobine de 24 V CC et peut supporter une charge de 10 A par contact.

Quelques-unes des caractéristiques clés du relai G2R-2-SND :

- Contact DPDT pour une commutation bipolaire
- Bobine de 24 V CC pour une alimentation courante
- Capacité de commutation de 10 A par contact
- Dimensions compactes pour une intégration facile dans les panneaux de commande
- Montage sur rail DIN ou en surface pour une flexibilité d'installation

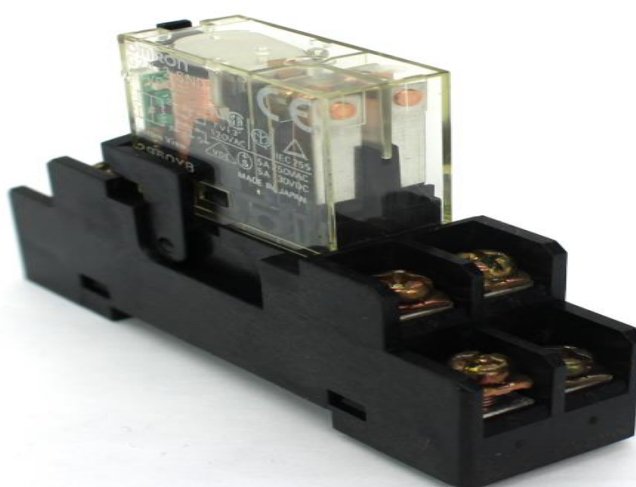


Figure I-8 Relai G2R-2-SND

3.2. API et IHM

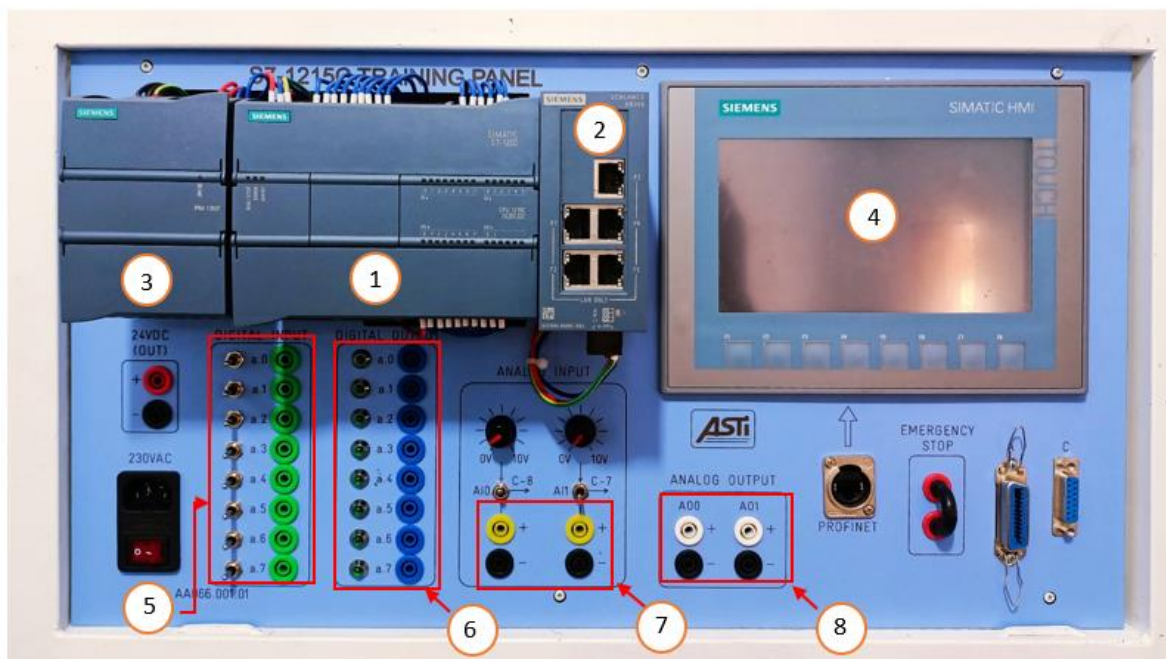


Figure I-9 API et IHM (Panneau de formation)

1. API SIEMENS S7-1200(CPU 1215C PN) :14DI,24V DC/10DO,24V DC,0.5A/2AI,0-10V DC/2AO,0-20mA
2. MODULE COMMUTATEUR COMPACT SIEMENS : 5X RJ 45
3. MODULE D4ALIMENTATION SIEMENS SIMATIC S7-1200 : 120/230V CA,24V CC, 2.5A
4. IHM SIEMENS SIMATIC KTP700
5. Avec connexion PROFINET
6. Entrées logiques
7. Sorties logiques
8. Entrées analogiques
9. Sorties analogiques

3.2.1. API SIEMENS S7-1200(CPU 1215C PN) :[5]

L'API Siemens S7-1200 (CPU 1215C PN) que vous décrivez est un automate programmable compact de la gamme SIMATIC S7-1200 de Siemens, cet automate programmable est capable de lire des signaux numériques et analogiques de capteurs et d'envoyer des signaux de commande à des actionneurs via ses entrées/sorties. Le port PROFINET permet la communication avec d'autres appareils sur un réseau industriel pour des applications plus complexes.

Voici un résumé de ses caractéristiques principales :

- **CPU 1215C PN** : C'est le type de CPU (Central Processing Unit) utilisé dans l'automate. Le "PN" signifie qu'il dispose d'un port PROFINET intégré, permettant la communication avec d'autres appareils sur un réseau industriel.
- Entrées/Sorties (E/S) :
- **14 Entrées numériques (DI)** : Ces entrées peuvent lire des signaux numériques on/off (24V DC dans ce cas).
- **10 Sorties numériques (DO)** : Ces sorties peuvent piloter des actionneurs on/off (24V DC, courant max 0.5A).
- **2 Entrées analogiques (AI)** : Ces entrées peuvent lire des signaux analogiques variant de 0 à 10V DC.

- **2 Sorties analogiques (AO) :** Ces sorties peuvent fournir des signaux analogiques variant de 0 à 20mA.

3.2.2. IHM SIEMENS SIMATIC KTP700[6]

L'IHM SIEMENS SIMATIC KTP700 est un panneau de commande et de visualisation (IHM) de la gamme SIMATIC Basic Panel de Siemens. Il est conçu pour les applications de commande et de surveillance simples à moyennes dans les domaines de l'automatisation industrielle.

Le KTP700 dispose d'un écran TFT 7 pouces avec 65 536 couleurs et peut être utilisé à l'aide des boutons intégrés ou de l'écran tactile. Il est doté d'une interface PROFINET pour la communication avec le contrôleur PLC.

Caractéristiques principales :

- Écran TFT 7 pouces, 65 536 couleurs
- Commande par touches/tactile
- Interface PROFINET
- Résolution 800 x 480 pixels
- Logiciel WinCC Basic V13/ STEP 7 Basic V13
- Logiciel Open Source gratuit
- Disponible en différentes versions : Basic, Confort et Premium

Avantages :

- Facile à utiliser et à configurer
- Robuste et fiable
- Large gamme de fonctions
- Bon rapport qualité-prix

Applications :

- Commande et surveillance de machines
- Gestion de processus
- Visualisation de données
- Interface homme-machine (IHM)

3.3. Pompe

SPCO® makes life easier		Swiss Pump Company AG (Thun-Switzerland)	
CR100T			
Q .max	210	l/min	H.max 15 m
Suct.Hmax	9	m	Size 1.5"x1.5"
3~	V	380~	Hz 50 2900 min ⁻¹
kW 0.75	HP	1.0	In 2.5A IPX4
C μF	VL	V	LCL. B CE
S.N: 0527			S9837

Figure I-10La plaque signalétique

Il s'agit d'un moteur électrique de la marque SPCO (Swiss Pump Company AG). Le modèle est CR100T, Le moteur électrique SPCO CR100T est un moteur asynchrone triphasé conçu pour les pompes à eau submersibles. Il est de taille compacte et robuste, ce qui le rend idéal pour une utilisation dans des environnements exigeants.

Caractéristiques principales du moteur SPCO CR100T :

- **Puissance maximale (Q.max) :** 210 litres par minute (l/min)
- **Hauteur de refoulement maximale (H.max) :** 15 mètres (m)
- **Hauteur d'aspiration maximale (Suct.Hmax) :** 9 mètres (m)
- **Taille du raccord d'entrée/sortie :** 1,5 pouce x 1,5 pouce
- **Tension d'alimentation :** 380 volts (V)
- **Fréquence :** 50 hertz (Hz)
- **Vitesse de rotation :** 2900 tours par minute (min-1)
- **Puissance :** 0,75 kilowatt (kW) ou 1 cheval-vapeur (HP)
- **Courant :** 2,5 ampères (A)
- **Indice de protection :** IPX4
- **Classe d'isolation :** C
- **Condensateur :** 20 microfarads (µF)
- **Tension du condensateur :** 400 volts (V)
- **Numéro de série (SN) :** \$9837

Fonctionnement du moteur SPCO CR100T :

Le moteur SPCO CR100T fonctionne en créant un champ magnétique rotatif qui induit un courant électrique dans le rotor. Le rotor tourne ensuite à la même vitesse que le champ magnétique, ce qui entraîne la pompe.

Avantages du moteur SPCO CR100T :

- Compact et robuste
- Haute efficacité énergétique
- Faible bruit
- Longue durée de vie
- Facile à installer et à entretenir

3.4. Electrovanne

Le 2W-160-15 est une électrovanne pneumatique à 2 voies et à commande directe fonctionne en appliquant une tension électrique à la bobine du solénoïde. Lorsque la bobine est alimentée, elle crée un champ magnétique qui attire le plongeur de la vanne. Cela ouvre ou ferme le passage du fluide, selon la configuration de la vanne (Normalement ouverte ou Normalement fermée). Lorsque la tension est coupée, le ressort de la vanne ramène le plongeur à sa position initiale, fermant ou ouvrant le passage du fluide.

Caractéristiques principales :

- **Type de vanne :** Électrovanne à 2 voies, 2 positions (Normalement ouverte ou Normalement fermée)
- **Actionnement :** Direct (le solénoïde agit directement sur la tige de la vanne)
- **Taille du port :** 1/2 pouce (12,7 mm)
- **Pression de fonctionnement :** 0 à 10 bars (0 à 145 psi)

- **Température de fonctionnement** : -5°C à +80°C (-4°F à +158°F)
- **Fluide compatible** : Air, eau, huile
- **Tension d'alimentation** : DC 24V
- **Consommation de courant** : Environ 5A
- **Degré de protection** : IP65
- **Applications** : Contrôle de flux d'air, d'eau, d'huile dans divers systèmes pneumatiques et hydrauliques, machines-outils, etc.



Figure I-11Electrovanne

3.5. Réservoir

Le réservoir de notre prototype est un conteneur rectangulaire en verre mesurant 34 cm de longueur, 35 cm de largeur et 55 cm de hauteur. Sa transparence permet d'observer facilement le niveau d'eau, tandis que le verre est facile à nettoyer et à désinfecter. Cependant, il est important de manipuler le réservoir avec précaution en raison de sa fragilité



Figure I-12Réservoir

3.6. Modem

A. Modem Jazztel_74CD modèle AR-5315u

Le Jazztel_74CD modèle AR-5315u est un modem-routeur ADSL2+ conçu pour fournir un accès à Internet haut débit via une ligne téléphonique ADSL. Il est fabriqué par Arris International et est fourni par l'opérateur télécom espagnol Jazztel.

Le modem Jazztel_74CD se connecte à une ligne téléphonique ADSL et convertit le signal ADSL en une connexion Internet haut débit. Il peut ensuite distribuer cette connexion Internet aux ordinateurs et aux autres appareils connectés via le port Ethernet ou le Wi-Fi.

Caractéristiques principales :

- **Technologie :** ADSL2+ (jusqu'à 20 Mbps en téléchargement et 1 Mbps en envoi)
- **Connectivité :** 1 port Ethernet Gigabit pour une connexion filaire à un ordinateur ou à un réseau local
- **Connectivité sans fil :** Wi-Fi 802.11b/g/n (jusqu'à 300 Mbps) avec sécurité WPA/WPA2
- **Ports USB :** 2 ports USB 2.0 pour partager des imprimantes, des disques durs externes ou d'autres périphériques
- **Fonctions supplémentaires :** Pare-feu intégré, serveur DHCP, contrôle parental, QoS (qualité de service)



Figure I-13Modem

3.7. Capteur de niveau

Pour capter le niveau d'eau dans le réservoir, on a utilisé le capteur à ultrasons HC-SR09 associer avec une carte Arduino méga

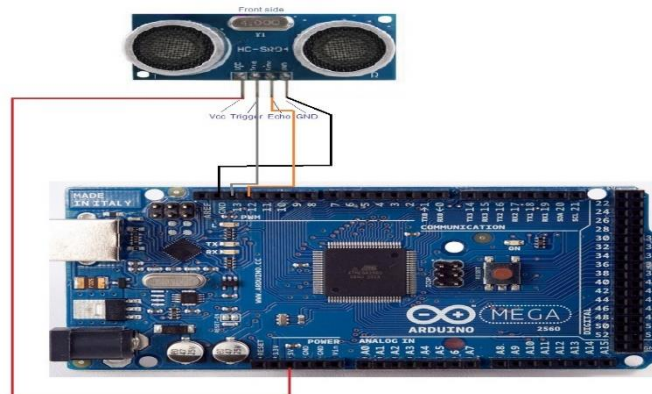


Figure I-14Capteur de niveau

Carte Arduino Méga 2560

La carte Arduino Méga 2560 est une carte microcontrôleur basée sur le microcontrôleur ATmega2560. Elle dispose de 54 broches d'entrée/sortie numériques, 16 entrées analogiques, une sortie PWM, une interface de communication série et une interface de programmation JTAG. La carte Arduino Méga 2560 est compatible avec une large gamme de Shields Arduino, ce qui en fait une plateforme puissante et polyvalente pour le développement de projets électroniques.

Capteur à ultrasons HC-SR091

Le capteur à ultrasons HC-SR091 est un capteur de distance qui utilise des ondes ultrasonores pour mesurer la distance entre deux objets. Le capteur émet une impulsion ultrasonore et mesure le temps qu'il faut à l'écho pour revenir. La distance est ensuite calculée en fonction de la vitesse du son dans l'air. Le capteur HC-SR091 est un capteur économique et facile à utiliser, ce qui en fait un choix populaire pour les projets Arduino.

Caractéristiques générales

- **Type** : Capteur à ultrasons
- **Principe de fonctionnement** : Mesure la distance en émettant une impulsion ultrasonore et en mesurant le temps nécessaire au retour de l'écho
- **Portée** : 2 cm à 400 cm (8 pouces à 13 pieds)
- **Précision** : ± 3 cm (1,2 pouce)
- **Angle de détection** : 30 degrés
- **Tension de fonctionnement** : 5V DC
- **Courant de fonctionnement** : 15 mA
- **Fréquence de fonctionnement** : 40 kHz
- **Signal de sortie** : Modulation de largeur d'impulsion (PWM)
- **Dimensions** : 40 mm x 23 mm x 15 mm (1,57 pouce x 0,91 pouce x 0,59 pouce)
- **Poids** : 18 grammes (0,64 once)
- **Applications** : Mesure de distance, évitement d'obstacles, détection de proximité, mesure de niveau de liquide, et bien plus encore

Connexions

Les connexions entre la carte Arduino Méga 2560 et le capteur HC-SR091 sont les suivantes :

- **Vcc (5V)** : Fournit une alimentation de 5V au capteur.
- **Trig** (Broche numérique 9) : Envoie une impulsion de 10 microsecondes au capteur pour démarrer la mesure de distance.
- **Echo** (Broche numérique 10) : Reçoit l'écho du capteur et mesure le temps qu'il faut à l'écho pour revenir.
- **Gnd** : Masse pour le capteur.

Fonctionnement

Pour utiliser le capteur HC-SR091 avec la carte Arduino Méga 2560, il faut d'abord connecter les connexions comme indiqué ci-dessus. Ensuite, on a codé un programme Arduino qui lit la broche Echo et calcule la distance en fonction du temps qu'il faut à l'écho pour revenir.

Voici le code Arduino qui calcule la distance en centimètres :

```
#define trigPin 9 // Define pin 9 as the trigger pin for the ultrasonic sensor
#define echoPin 10 // Define pin 10 as the echo pin for the ultrasonic sensor
#define output 13 // Define pin 13 as an output pin
const int numSamples = 5; // Number of samples to take for averaging distance measurements
float distanceSamples[numSamples]; // Array to store individual distance measurements
int currentSampleIndex = 0; // Index to track the current position in the distanceSamples array
bool arrayFilled = false; // Flag to indicate if the distanceSamples array is full
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Initialize serial communication for printing data
  pinMode(trigPin, OUTPUT); // Set the trigger pin as an output
  pinMode(echoPin, INPUT); // Set the echo pin as an input
  pinMode(output, OUTPUT); // Set the SVT pin as an output

  // Initialize the distanceSamples array with zeros
  for (int i = 0; i < numSamples; i++) {
    distanceSamples[i] = 0;
  }
}

void loop() {
  long duration; // Variable to store the duration of the echo signal
  float distance; // Variable to store the calculated distance
  float averageDistance = 0; // Variable to store the average of distance samples

  // Send a 10 microsecond pulse to trigger the ultrasonic sensor
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  // Measure the duration of the echo signal
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  // Calculate the distance based on the speed of sound and the echo duration
  distance = (duration / 2) / 29.1;
  // Store the distance sample in the array
  distanceSamples[currentSampleIndex] = distance;
  currentSampleIndex++;
  // Check if the array has been filled
  if (currentSampleIndex >= numSamples) {
    currentSampleIndex = 0;
    arrayFilled = true;
  }
  // Calculate the average distance
  int samplesToAverage = arrayFilled ? numSamples : currentSampleIndex;
  for (int i = 0; i < samplesToAverage; i++) {
    averageDistance += distanceSamples[i];
  }
  averageDistance /= samplesToAverage;
  // Convert distance to a value for controlling the output
  float mli = (63 - averageDistance) * 5.1;
  // Set the output based on the average distance
  analogWrite(output, mli);
  // Print the average distance to the serial monitor
  Serial.println(63 - averageDistance);
  // Delay for 100 milliseconds before repeating the loop
  delay(100);
}

```

II. CHAPITRE 02 : Modélisation par réseaux de pétri hybride

1 Introduction

Ce chapitre introduira la notion de réseaux de Petri hybride (RPH) comme outil de modélisation pour les systèmes dynamiques complexes. Nous présenterons les différentes définitions des RPH et expliquerons leur pertinence pour la modélisation de notre système de contrôle de niveau d'eau.

2 Les systèmes :

L'automatique approuve un intérêt croissant pour les systèmes dynamiques industriels. Cet intérêt s'explique par l'existence de nombreux systèmes physiques dont l'aspect discret et continu présente une interaction directe. Cette intégration de l'automatisation dans des systèmes particuliers au XXe siècle se base généralement sur deux types de technologies, mises en œuvre avec des méthodologies qui décrivent le comportement des systèmes physiques : les systèmes à événements discrets et les systèmes continus. D'où l'apparition du terme « hybride » qui est employé généralement pour les systèmes physiques constitués de deux composantes de nature différente

Pour modéliser ces systèmes, il est nécessaire de trouver une configuration qui relie la partie continue à la partie discrète du système, bien que le nombre d'états accessibles soit fini et les événements externes qui pilotent le système sont asynchrones

L'analyse des propriétés comportementales du modèle nous permet de réaliser un système de commande structuré adéquat aux systèmes étudiés. Dans ce chapitre, nous présentons le concept du système dynamique hybride avec les paramètres qui influent sur la variation du comportement des systèmes et qui peuvent être discrets, continus ou hybrides, en abordant les approches utilisées dans ce contexte avec la modélisation de ces types de systèmes.

2.1. Définitions des systèmes :

Le système est un ensemble de méthodes, procédures et routines détaillées créées pour exercer une activité spécifique, accomplir une tâche ou résoudre un problème, lorsque cette représentation devient en réalité complexe, il est donc nécessaire de le modéliser. Cette notion est donnée dans la définition de J. De Rosnay :

C'est l'ensemble d'entités d'un système interagissant dynamiquement et qui sont organisées en fonction d'une finalité.

Ces éléments s'influencent continuellement (directement ou indirectement) pour maintenir leur activité et l'existence du système afin d'atteindre l'objectif de ce dernier.

Les systèmes se caractérisent par leurs grandeurs d'entrées, de sorties et les mécanismes de rétroaction, afin de maintenir un état d'équilibre interne malgré un environnement externe changeant, et ont des limites qui sont généralement définies par l'observateur du système

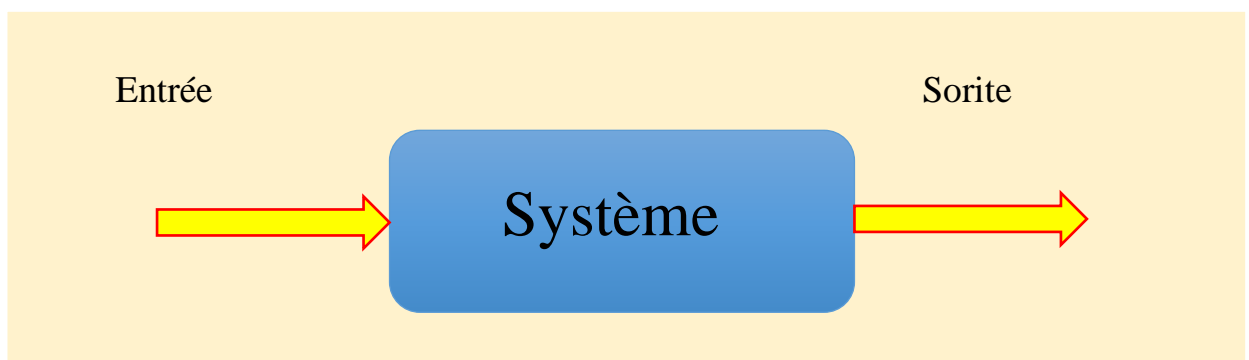


Figure II. 1 Représentation générale d'un système commandé

Les grandeurs d'entrée sont les grandeurs qui agissent sur le système, Il existe deux types :

- Les entrées affectant un système peuvent être de nature différente. Les unes ont pour but d'exercer des actions entraînant le fonctionnement souhaité du système ; ce sont les commandes.
- Les autres entrées qui perturbent le fonctionnement désiré, sont définies comme des perturbations.

L'interaction des éléments d'un système est réalisée selon certains principes ou règles, elle est déterminée par :

- sa frontière, c'est-à-dire le critère d'appartenance au système (déterminant si une entité appartient au système ou fait au contraire partie de son environnement)
- ses interactions avec son environnement
- ses fonctions (qui définissent le comportement des entités faisant partie du système, leurs organisations et leurs interactions)

2.2. Classification des systèmes dynamiques

Selon la nature des variables d'état et de la variable d'état indépendante, qui est le temps, les systèmes dynamiques peuvent être classés comme suit :

2.2.1. Systèmes dynamiques continus

Dans cette catégorie, la variable temporelle est toujours présente et peut être continue ou discrète. Le comportement de ce type de système est décrit par des variables d'état continues. Le temps lui-même peut être continu, auquel cas le système est appelé continu, ou discret, comme c'est le cas pour les systèmes échantillonnés, dont l'exemple le plus répandu est celui des systèmes à données échantillonnées

La représentation de l'évolution de ces grandeurs, reflétant le comportement dynamique du processus, est alors une représentation mathématique utilisant des modèles continus, tels que des équations différentielles, des équations récursives, des équations aux différences, des fonctions de transfert ou des équations d'état.

Un système continu est formellement défini par un triplet (X, X_0, f) tel que :

- $X \in \mathbb{R}^n$ est l'espace d'état continu ;
- $X_0 \subseteq X$ est l'espace d'état initial du système ;
- $f : X \rightarrow \mathbb{R}^n$ est le champ vectoriel continu.

Le comportement d'un système continu est le plus souvent décrit par une équation différentielle de la forme :

- $\dot{X} = f(x)$

Où $x \in X$ est l'état du système, le comportement d'un système continu est caractérisé par la solution de l'équation différentielle $\dot{x} = f(x)$ à partir de l'état initial $x_0 \in X_0$.

Un système continu est dit linéaire s'il est modélisé par une équation différentielle de la forme :

- $\dot{X} = A \cdot x$

Où $\mathbb{R}^{n \times n}$ est une matrice constante.

2.2.2. Les systèmes dynamiques à évènement discrets[7]

Un système à évènements discrets (SED) est décrit par des variables d'état discrètes, qui prennent leurs valeurs dans un ensemble dénombrable. Ce type de système peut être temporel (composée d'une ou plusieurs variables de l'état qui sont une fonction du temps non symbolisé, autrement-dite). Dans le cas d'un SED autonome, la variable temps n'est pas utilisé (automate) alors que dans le cas pour un SED contrôlé on emploie les évènements. Dans le cas des SED temporisés, le temps peut être continu ou

discret, à chaque éventualité est attaché l'instant de son occurrence qui précise ses valeurs dans \mathbb{R}^+ , c'est d'un automate temporisé par exemple. Les SED peuvent être modélisés par automates états continu, réseaux de Petri, chaînes de Markov, logique (Max,+), etc...

Un système à événements discrets est formellement défini par un triplet $[Q_0, \sigma, \delta]$ tel que :

- Q est un ensemble fini ou infini d'états ;
- $Q_0 \subseteq Q$ l'ensemble des états initiaux ;
- $\delta : Q \times Q$ est la fonction de transition entre états, elle détermine le comportement du système

Notons que le comportement d'un même système physique peut être décrit par des variables d'états continues ou discrètes, suivant le phénomène auxquels on s'intéresse.

2.2.3. Les systèmes dynamiques hybrides[8]

Dans certains cas et pour des objectifs spécifiques, il est possible de choisir toutes les variables d'état dans l'une des deux catégories, pour la description d'un système physique donnée, mais ce n'est pas toujours le cas. En effet, la plupart des systèmes physiques ne peuvent pas être classés dans l'une des deux catégories précédentes homogènes ou systèmes dynamiques, et les variables d'états auxquelles on s'intéresse contiennent des variables discrètes et d'autres continues. Dans ce cas les systèmes sont dits systèmes dynamiques hybrides, ce sont des systèmes hétérogènes caractérisés par l'interaction d'une dynamique de nature discrète et une autre de nature événementielle. L'essor de ces systèmes est relativement nouveau, il est une combinaison d'un système à événement continu et un système à événements discrets, en insistant sur l'importance des interfaces qui assurent les connections entre les dynamiques continue et discrète, comme le montre la Figure

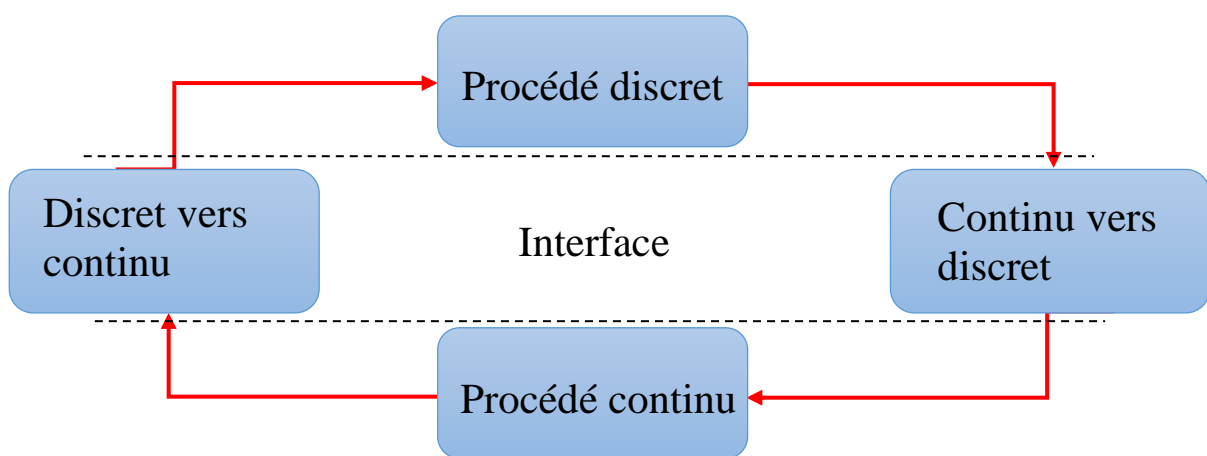


Figure II. 2 system dynamique hybride

3 Modélisation

Pour quoi modélisé :

L'utilisation de modèles prend une part de plus en plus importante dans les projets technologiques menés par les ingénieurs, que ce soit pour la définition de systèmes, leur conception, leur réalisation et même leur intégration (mise en œuvre), leur maintenance et leur exploitation.

Par définition, un modèle est une représentation d'un système : il peut ainsi permettre de décrire de façon non équivoque un système technologique. De sa définition à son exploitation, un système technologique va être appréhendé par différentes personnes (Ingénieurs, etc.) sous des points de vue différents (conception, réalisation, maintenance, exploitation, etc.).

Le passage d'une personne à l'autre doit alors se faire sans perte d'information, ce que permet l'utilisation d'un modèle. Ce problème est suffisamment central pour qu'un énorme effort soit consacré au niveau de la définition et de la mise en œuvre de normes et de standards Industriels. Par exemple, la modélisation

du fonctionnement demandé à un automate industriel est possible par l'utilisation du Grafcet, qui est un outil de modélisation dérivant des Réseaux de Petri.

Lors de la conception d'un nouveau système technologique, le cahier des charges exprime le comportement attendu du système. La question fondamentale est de garantir que le système qui a été conçu (sur le papier) remplit bien le cahier des charges (satisfaisant). L'approche traditionnelle de la conception d'un système consiste à le concevoir sur le papier, à le réaliser et à faire des expériences sur le système correspondant à des scénarios types afin de vérifier si son comportement est satisfaisant et s'il est nécessaire de l'améliorer. Cette approche pose plusieurs problèmes. Dans certains cas, il est impossible de réaliser des expériences sur le système (par exemple, systèmes spatiaux). Parfois, cela peut être dangereux si des informations manquent sur son comportement possible.

De façon plus courante, une telle approche est longue et coûteuse, ce que permettent de moins en moins les contraintes économiques. Une alternative est de définir le système technologique à l'aide d'un modèle. En plus de l'avantage vu précédemment, pour un scénario donné, un modèle permet en général de calculer numériquement les valeurs des variables d'état et de sortie, ce qui est plus court et plus économique que de les mesurer au cours d'une expérience.

4 Réseau de péturie

4.1. Introduction

C'est en 1962 dans le cadre de l'étude de la communication automatisée que Carl Adam Petri a introduit pour la première fois les RdP [PETRI 62]. Ils permettent la modélisation pour l'analyse, et la simulation des processus.

Les RdP n'ont trouvé leur place dans l'étude des SdP que beaucoup plus tard. Et ce n'est que depuis 1983 que les RdP sont utilisés dans ce domaine [DAVID 89], [PROTH 95] et [MONTEIRO 01].

Les RdP sont bien connus comme étant des modèles puissants pour l'expression de phénomènes de concurrence, de causalité et de non-déterminisme. Ils permettent d'associer rigueur mathématique avec expression graphique. Des travaux ultérieurs ont permis de développer les Réseaux de Petri comme un outil de modélisation des systèmes à variables d'entrée, de sortie et d'état discrets. C'est aussi un outil de modélisation pour les systèmes à variables logiques puisque ceux-ci sont un cas particulier des systèmes à variables discrètes. Un caractère très intéressant est que les modèles RdP sont sous la forme d'une représentation mathématique graphique. Ce point est important car le fait d'écrire sous forme graphique un modèle plutôt que sous forme d'équations peut permettre de le rendre lisible par des personnes dont la formation scientifique n'est pas forcément poussée. Le modèle RdP a d'ailleurs donné naissance au Grafcet, un langage de spécification et de programmation d'automates industriels. Dans le langage Grafcet, le caractère graphique est ici fondamental car ce langage doit être accessible à la fois à l'industriel, l'ingénieur, le technicien et l'ouvrier car c'est un outil graphique. De plus, l'un des avantages des RdP, par rapport aux autres formalismes du même type, est qu'ils reposent sur des fondements théoriques permettant de vérifier les propriétés générales d'un modèle (vérifier que le modèle est vivant, sans blocage, borné, etc.) ainsi que l'accessibilité de certains marquages. Les méthodes de recherche de propriétés dans les réseaux de Petri sont basées non seulement sur l'élaboration du graphe des marquages accessibles comme le cas des automates, mais aussi sur l'algèbre linéaire (calcul des invariants de places et de transitions). Dans un premier instant, les Réseaux de Petri ont été largement utilisés pour modéliser les systèmes discrets (systèmes de calcul, de production, de communication...etc.), car le marquage d'une place peut correspondre, soit à l'état booléen d'un dispositif (par exemple, une ressource est disponible ou pas), soit à un nombre entier (par exemple le nombre de pièces dans un stock). Dans ce contexte, nous commençons en premier temps par les notions de base des RdP discrets, suivis d'une représentation des RdP continus. Enfin, nous terminerons par l'outil exploité dans l'élaboration du modèle des SDH dans notre travail les RdP hybrides.

4.2. Outil de modélisation

Le couplage d'un modèle en RdP avec une représentation d'activité continue a été étudié par plusieurs auteurs qui ont modifié la théorie de base en ajoutant de nouvelles places et de nouvelles transitions destinées à représenter l'évolution linéaire ou exponentielle d'une variable continue. L'objectif initial du RdP continu était de trouver une représentation réduite d'un système à événement discret lorsque le nombre de jetons devenait trop important et de raisonner en termes de flux. Ils ont étendu cette approche à des systèmes caractérisés par des phénomènes d'accumulation de pièces et régis par des lois de comportement des places dont les transitions sont contrôlées par le calcul d'une équation d'état. Dans les travaux de Alla et David, ont été développés à partir des RdP continus, les RdP hybrides. Ces réseaux contiennent des places et des transitions discrètes (représentées graphiquement avec un contour simple) et continues (représentées avec un contour double). Ainsi, la partie continue permet de modéliser les flux continue et la partie discrète les fonctionnements logiques (vanne ouvert/fermée par exemple).

4.3. RDP discret

1. Notion de base

1. **Définition :** Un réseau de Pétri est un moyen de modélisation du comportement des systèmes dynamiques à événements discrets ou bien un moyen de description des relations existantes entre des conditions et des événements.[9]
2. **Places, transitions et arcs :** Un RDP est composé de places, transitions et arcs, la place (P) est représentée par un cercle, le transition (T) par un trait et l'arc étiqueté par une valeur (ou un poids), relie soit une place à une transition ou une transition à une place (Figure 2.3).

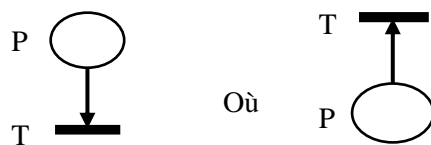


Figure II. 3 un réseau de pétri

3.

a. Marquage

Chaque place contient un nombre entier positif ou nul de marques (ou jetons). Le marquage M définit l'état du système décrit par le réseau à un instant donné. C'est un vecteur colonne de dimension de nombre de places dans le réseau. Le vecteur correspond au nombre de jetons contenus dans la place (Figure. 2.4).

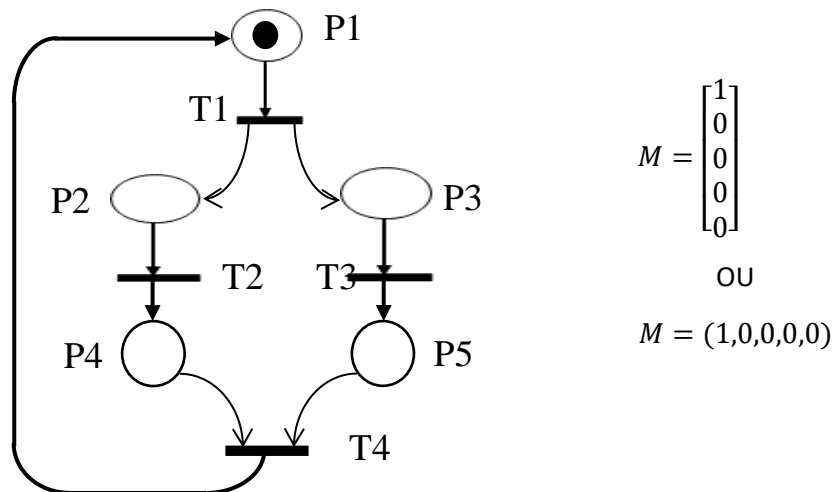


Figure II. 4 Marquage

b. Franchissement d'une transition

Le franchissement consiste à retirer un jeton de chacune des places d'entrée et à rajouter un jeton à chacune des places de sortie de la même transition, prenons l'exemple 1 (Figure. 2.5.), Le franchissement de T1 consiste à enlever un jeton de P1 et un jeton de P2 et à rajouter un jeton dans

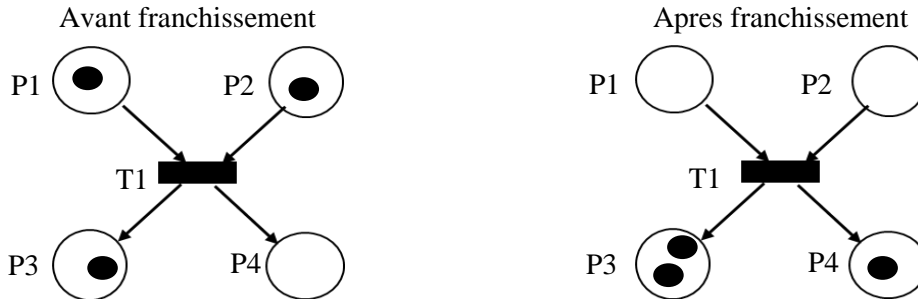


Figure II. 5Franchissement d'une transition

P3 et un jeton dans P4.

Prenons l'exemple 2, la transition T1 ne peut pas être franchie car la place P2 ne contient aucun jeton (Figure. 2.6.).

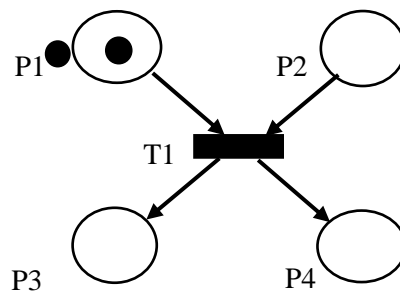


Figure II. 6 Transition non franchissable

Une transition sans place d'entrée est toujours franchissable : c'est une transition source. Le franchissement d'une transition source consiste à rajouter un jeton à chacune de ces places de sortie (Figure. 2.7.).

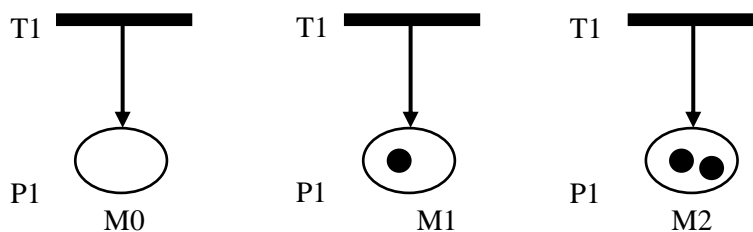


Figure II. 7Transition source

Une transition sans place de sortie est une transition puits. Le franchissement d'une transition puits consiste à retirer un jeton de chacune de ses places d'entrée (Figure. 2.8.).

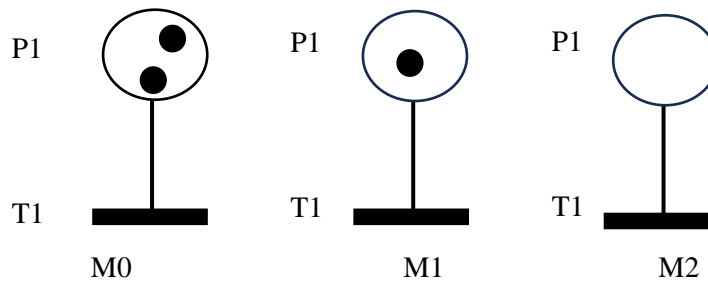


Figure II. 8 Transition puits

c. Séquence de franchissement

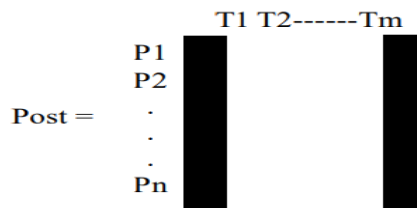
Une séquence de franchissement s est une suite de transitions $T_i T_j \dots T_k$ qui peuvent être franchies successivement à partir d'un marquage donné. Une seule transition peut être franchie à la fois

d. Marquages accessibles

L'ensemble des marquages accessibles est l'ensemble des marquages M , qui peuvent être atteints par le franchissement d'une séquence s à partir du marquage initial M :

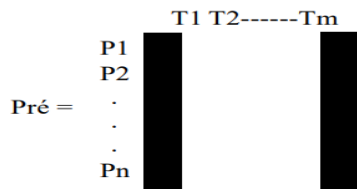
e. Matrice d'incidence :

I. Matrice Post-incidence :



C'est une matrice à n ligne et m colonnes avec n le nombre de places et m le nombre de transitions dans le RdP. Chaque élément de cette matrice Post (P_i, T_j) correspond au nombre de jetons à rajouter dans P_i en franchissant T_j .

II. Matrice Pré -incidence :



C'est une matrice à n ligne et m colonnes avec n le nombre de places et m le nombre de transitions dans le RdP. Chaque élément de cette matrice Post (P_i, T_j) correspond au nombre de jetons à enlever dans P_i en franchissant T_j .

III. Matrice d'incidence :

$$C = \text{Post} - \text{Pré} = \begin{matrix} & \begin{matrix} T1 & T2 & \dots & Tm \end{matrix} \\ \begin{matrix} P1 \\ P2 \\ \vdots \\ Pn \end{matrix} & \begin{matrix} \blacksquare & & & \blacksquare \end{matrix} \end{matrix}$$

C'est une matrice à n ligne et m colonnes avec n le nombre de places et m le nombre de transitions dans le RdP. Elle peut être calculée comme suit :

Chaque élément de cette matrice C (Pi, Tj) correspond au nombre de jetons à rajouter moins celui à enlever dans Pi en franchissant Tj.

4.4. Les réseaux de Pétri continus[10]

Les Réseaux de Petri Continus (RDP Continus) sont une extension des Réseaux de Petri discrets permettant de modéliser des systèmes dynamiques où les états changent de manière continue et fluide. Dans les RDP Continus, les jetons peuvent prendre des valeurs réelles non négatives, contrairement aux valeurs entières des RDP discrets. Les places, appelées C-places, ont des marquages continus, et les transitions, appelées C-transitions, se franchissent continuellement dans le temps. Ces réseaux sont particulièrement utiles pour représenter des flux de fluides, des réactions chimiques, ou des systèmes de production avec débits variables, permettant de capturer l'interaction entre processus discrets et continus de manière précise.

4.4.1. Le RdP continu à vitesse constante

Il y a quatre modèles RdP continu, celui à vitesse constante (RdPCC) a été le premier à être défini. C'est aussi le plus simple et le plus aisé à comprendre sur le plan intuitif. Une vitesse de franchissement maximale est associée à chaque transition Tj. Tant que la place d'entrée de la transition n'est pas vide, la transition est franchie selon sa vitesse maximale. Si la place d'entrée est vide mais qu'elle est alimentée en amont par une autre transition Tk, alors la vitesse de franchissement est le minimum des vitesses maximales des deux transitions Tj et Tk.

4.4.2. Le RdP continu à Vitesses Variables

Dans ce modèle la vitesse maximale de franchissement d'une transition dépend du marquage des places en amont de la transition et d'une valeur constante associée à la transition. Les marquages et les vitesses sont donc des fonctions continues du temps, alors que dans le RdP continu à vitesse constante cette propriété est vraie pour les marquages mais pas pour les vitesses qui sont simplement constantes par morceaux. Ce modèle fournit une meilleure approximation du RdP discret, en particulier lorsque le nombre de marques est petit, mais les simulations sont plus longues. Ici, le comportement événementiel est perdu, il faut discrétiser le temps pour faire une simulation.

4.4.3. 4.3. Le RdP continu Asymptotique

Il est possible de distinguer plusieurs phases d'évolution du marquage. Chaque phase est caractérisée par une période durant laquelle le vecteur des vitesses de franchissement est constant. La vitesse de franchissement d'une transition est alors constante par morceaux, et l'évolution du marquage est donc composée de plusieurs phases de fonctionnement. Il s'agit de l'approximation du RdP Continu à Vitesses Variables, mais la simulation est facilitée.

4.4.4. Le RdP continu à Vitesses Fonction du Temps

Cette extension des RdP continus temporisés permet de prendre en compte l'environnement du système modélisé comme par exemple la fluctuation de l'approvisionnement d'un atelier ou l'influence d'une commande extérieure. La vitesse maximale de franchissement d'une transition est soit une fonction continue du temps, soit une fonction constante par morceaux.

4.4.5. Les RdP continus temporisés

Dans ce qui suit, tous les RdP temporisés fonctionnent à vitesse maximale, et chaque transition possède une place de réentrance qui interdit deux franchissements simultanés de la même transition

4.5. Les Réseaux de Petri Hybrides [10]

Les réseaux continus constituent une bonne approximation lorsqu'il s'agit de modéliser un flux de pièces – par exemple. Cependant l'état opérationnel ou en panne d'une machine, ou en règle générale toute condition booléenne ne peut être modélisée par un nombre réel. Ceci a conduit naturellement à définir les réseaux hybrides, réunissant une partie discrète et une partie continue. Ainsi, dans un réseau hybride, on retrouve des places et des transitions discrètes (représentées en simple ligne) et des places et des transitions continus (représentées en double ligne), avec une influence mutuelle des parties discrètes et continus, (Figure .2.9) (David et al. 2001, Zaytoon 2001).

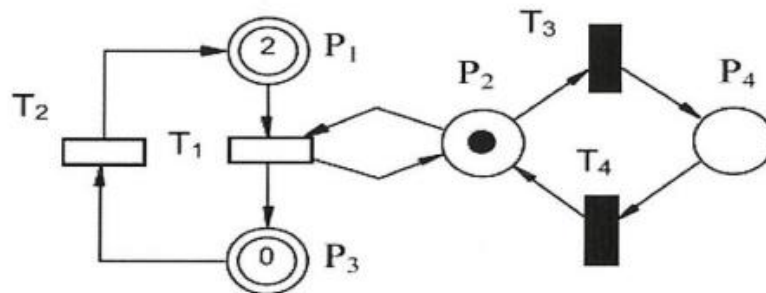


Figure II. 9 Réseau de pétri hybride

Les places continues sont P1 et P3, les transitions continues sont T1 et T2, les places discrètes P2 et P4, et les transitions discrètes T3 et T4. Les transitions T1 et T3 sont validées, donc franchissables. Alors, si la transition continue T1 sera franchie avec une vitesse constante, pour une quantité de franchissement 0.1 on obtient le marquage (1.9, 1, 0.1, 0). On a retiré donc une quantité de marquage 0.1 de P1 et P2 qui sont les places d'entrée, et l'on a ajouté la même quantité à P3 et P2 qui sont les places de sortie. On voit que le marquage de la place discrète P2 est encore un entier, puisque l'on a retiré et ajouté la même quantité

4.5.1. *L'influence de la partie discrète sur la partie continue*

La Figure .2.10 Suivante modélise l'influence de la partie discrète sur la partie continue ou le franchissement de la transition continue T, est conditionné par le marquage de la place discrète P

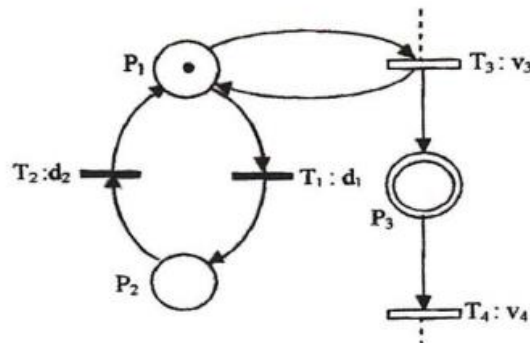


Figure II. 10 Influence de la partie discrète sur la partie continue

4.5.2. *L'influence de la partie continue sur la partie discrète*

L'influence de la partie continue sur la partie discrète (Figure .2.11.) est réalisée via la validation de la transition discrète T, par une place continue suivant que son marquage est supérieur ou non aux seuls

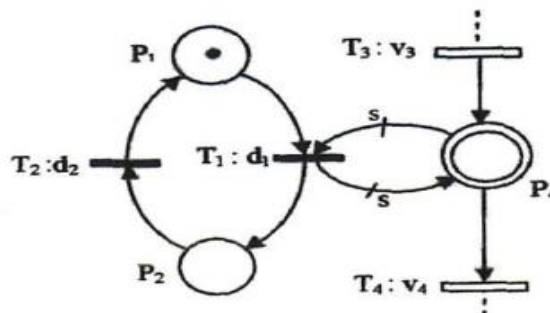


Figure II. 11 Influence de la partie continue sur la partie discrète

4.5.3. *Partage de ressource*

Lorsque on a un seul serveur pour deux lignes de production, la modélisation par RDPH est représentée sur La (Figure .2.12) La place P, modélise le serveur partagé par les deux lignes de production.

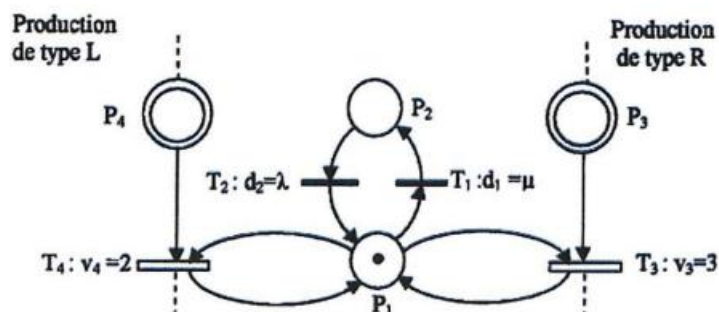


Figure II. 12 Partage de ressource

5 Notre model

A partir de la description du système d'alimentation en eau potable que nous avons présentée au premier chapitre, et en se basant sur les notions fondamentales des RdP-hybrides décrites au deuxième, nous avons élaboré un premier modèle RdP-hybride pour notre prototype

5.1. Éléments du Réseau de Petri Hybride

1. Places :

PPompe ON : La pompe est activée.

PPompe OFF : La pompe est désactivée

PElectrovanne_Ouverte : L'électrovanne est ouverte.

PElectrovanne Fermee : L'électrovanne est fermée.

PNiveau Eau : Le niveau d'eau dans le réservoir (place continue).

2. Transitions :

TActiver Pompe : Transition pour activer la pompe.

TDesactiver Pompe : Transition pour désactiver la pompe.

Touvrir_Electrovanne : Transition pour ouvrir l'électrovanne.

TFermer Electrovanne : Transition pour fermer l'électrovanne.

TRemplissage Reservoir : Transition continue représentant le flux d'eau dans le réservoir.

5.2. Dynamique du Système

Lorsque la pompe est activée et que l'électrovanne est ouverte, le niveau d'eau dans le réservoir augmente.

Lorsque la pompe est désactivée ou que l'électrovanne est fermée, le niveau d'eau dans le réservoir n'augmente pas.

5.3. Modélisation du Réseau de Petri Hybride

Places et Transitions Discrètes

• Pompe :

Place **PPompe ON**:: indique que la pompe est activée.

Place **PPompe OFF** indique que la pompe est désactivée.

Transition **TActiver Pompe**: transition pour activer la pompe.

Transition **TDesactiver Pompe**: transition pour désactiver la pompe.

Électrovanne:

Place **PElectrovanne_Ouverte**: indique que l'électrovanne est ouverte.

Place **PElectrovanne Fermee**: indique que l'électrovanne est fermée.

Transition **Touvrir_Electrovanne**: transition pour ouvrir l'électrovanne.

Transition **TFermer Electrovanne**: transition pour fermer l'électrovanne.

Place Continue

• Niveau d'eau :

• Place **PNiveau Eau**: représente le niveau d'eau dans le réservoir (quantité continue).

Transitions Hybrides

-Transition **TRemplissage Reservoir** ;

-Condition de tir : La pompe est activée (**PPompe ON**) et l'électrovanne est ouverte (**PElectrovanne_Ouverte**).

-Effet : Le niveau d'eau dans **PNiveau Eau** augmente à un taux proportionnel au débit de la pompe.

Explication

1. Activation de la pompe :

• La transition **TActiver Pompe** permet de passer de **PPompe OFF** à **PPompe ON** :

- La transition **TDesactiver Pompe** permet de passer de **PPompe ON** à **PPompe**
- 2. Ouverture de l'électrovanne :**
- La transition **Touvrir_Electrovanne** : permet de passer de **PElectrovanne Fermee** à **PElectrovanne_Ouverte**
 - La transition **TFermer Electrovanne** permet de passer de **PElectrovanne_Ouverte** à **PElectrovanne Fermee**
- 3. Remplissage du réservoir :**
- La transition continue **TRemplissage Reservoir** augmente le niveau d'eau dans **PNiveau Eau** lorsque la pompe est activée (**PPompe ON**) et l'électrovanne est ouverte (**PElectrovanne_Ouverte**).
Ce modèle permet de représenter à la fois les dynamiques discrètes (états de la pompe et de l'électrovanne) et continues (niveau d'eau) du système.

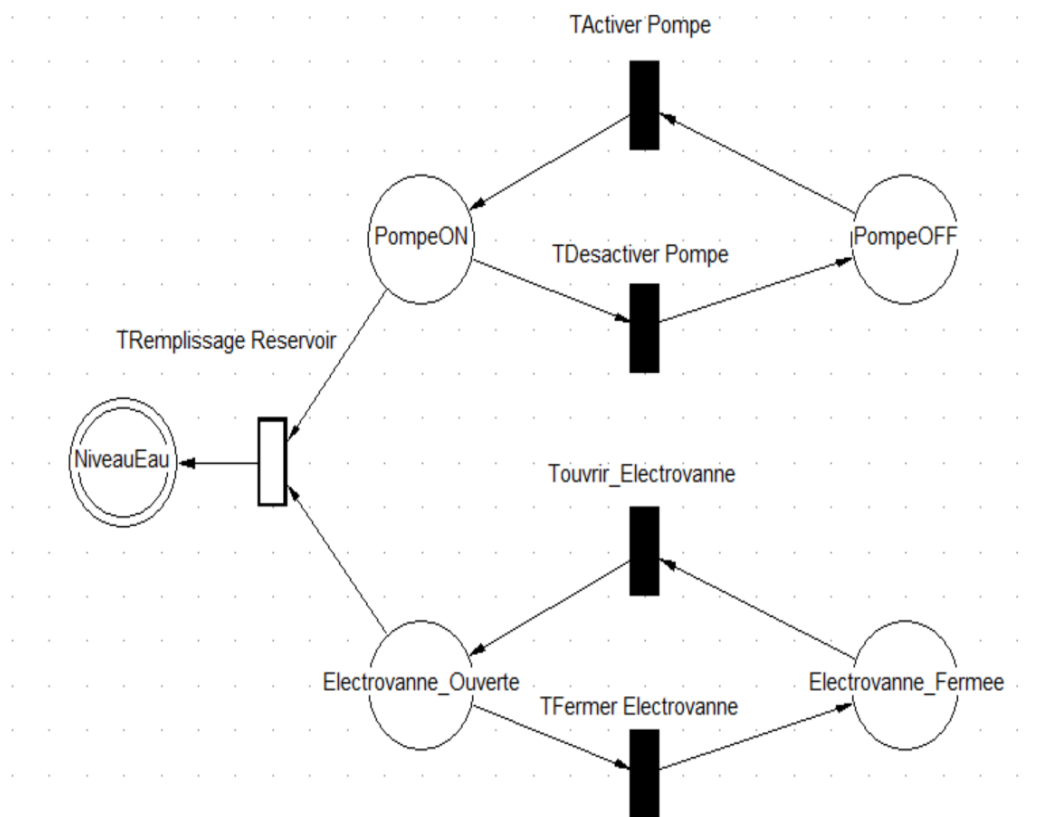


Figure II. 13 Model de réseau de pétri hybride pour notre prototype

III. CHAPITR 03 : Contrôle à distance et visualisation des performances

1 Introduction

Ce chapitre dévoilera le prototype final du système de contrôle de niveau d'eau, conçu à l'aide de TIA PORTAL V15. Nous présenterons la plateforme de supervision associée, l'application Android pour la commande du système et les résultats obtenus.

2 Cahier de charge

Le contrôleur PID détermine l'écart entre la valeur de consigne et le niveau d'eau pendant la vidange. En conséquence, la pompe alimente le réservoir à nouveau avec la même quantité de sortie, garantissant ainsi un niveau d'eau constant dans le réservoir

3 Partie programmation

3.1. Structure de programme

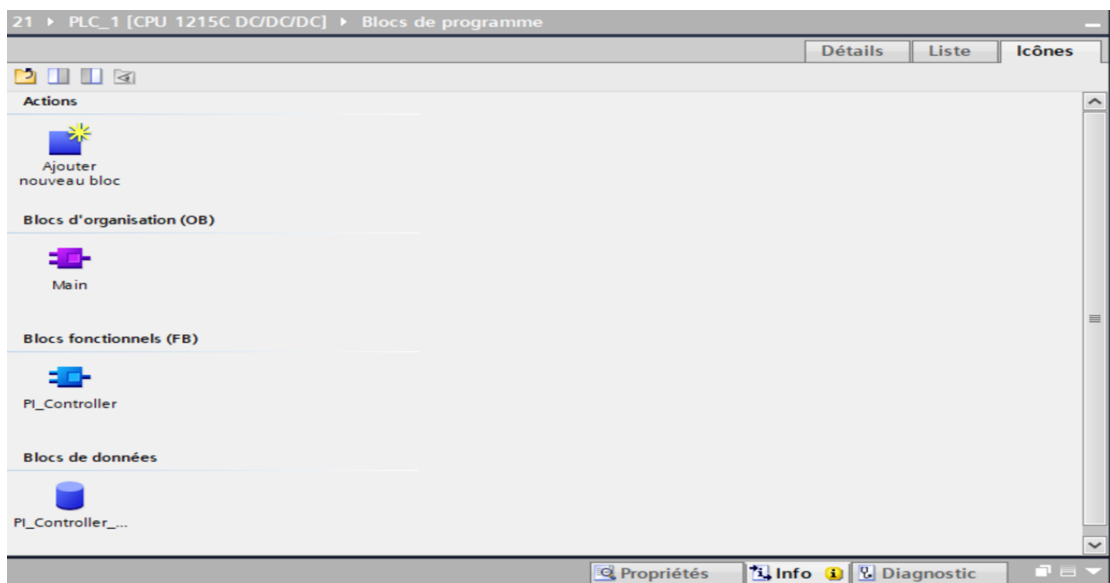


Figure III. 1 Blocs de Structure de programme

3.1.1. Bloc d'organisation OB1 :

Le bloc d'organisation OB1 est un élément crucial de la programmation des contrôleurs logiques programmables (PLC) Siemens S7 dans TIA Portal. Il s'agit du bloc cyclique principal par défaut, exécuté en permanence par le PLC. Sa fonction principale est de gérer le déroulement du programme utilisateur, en assurant la lecture des entrées, le traitement des instructions et la mise à jour des sorties.

3.1.1.1. Contenu de Bloc OB1

Ce bloc contient 3 réseaux :

Réseau 01 :

Ce bloc contient NORM_X et SCALE_X qui convertissent le signal d'entrée de la forme Int vers la forme réelle

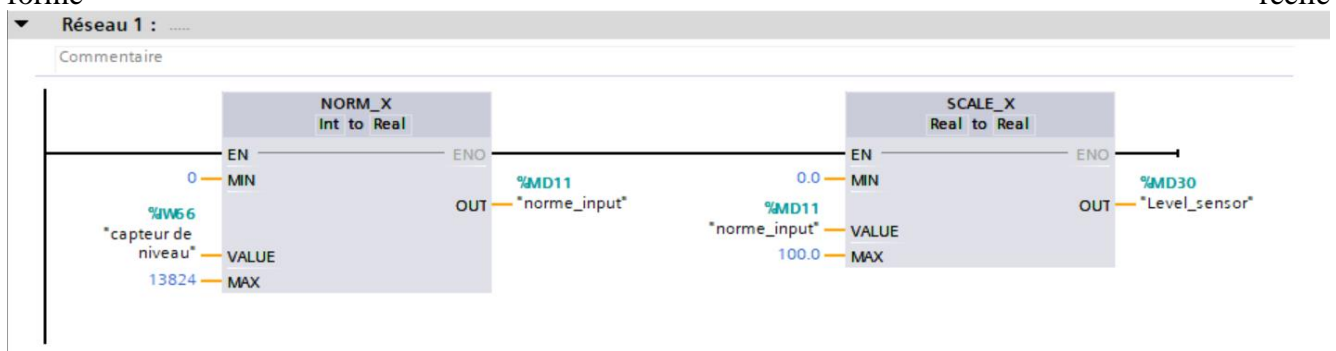


Figure III. 2 Réseau 01

Réseau 02

Ce réseau organise les entrées et les sorties pour la commande de systèmes

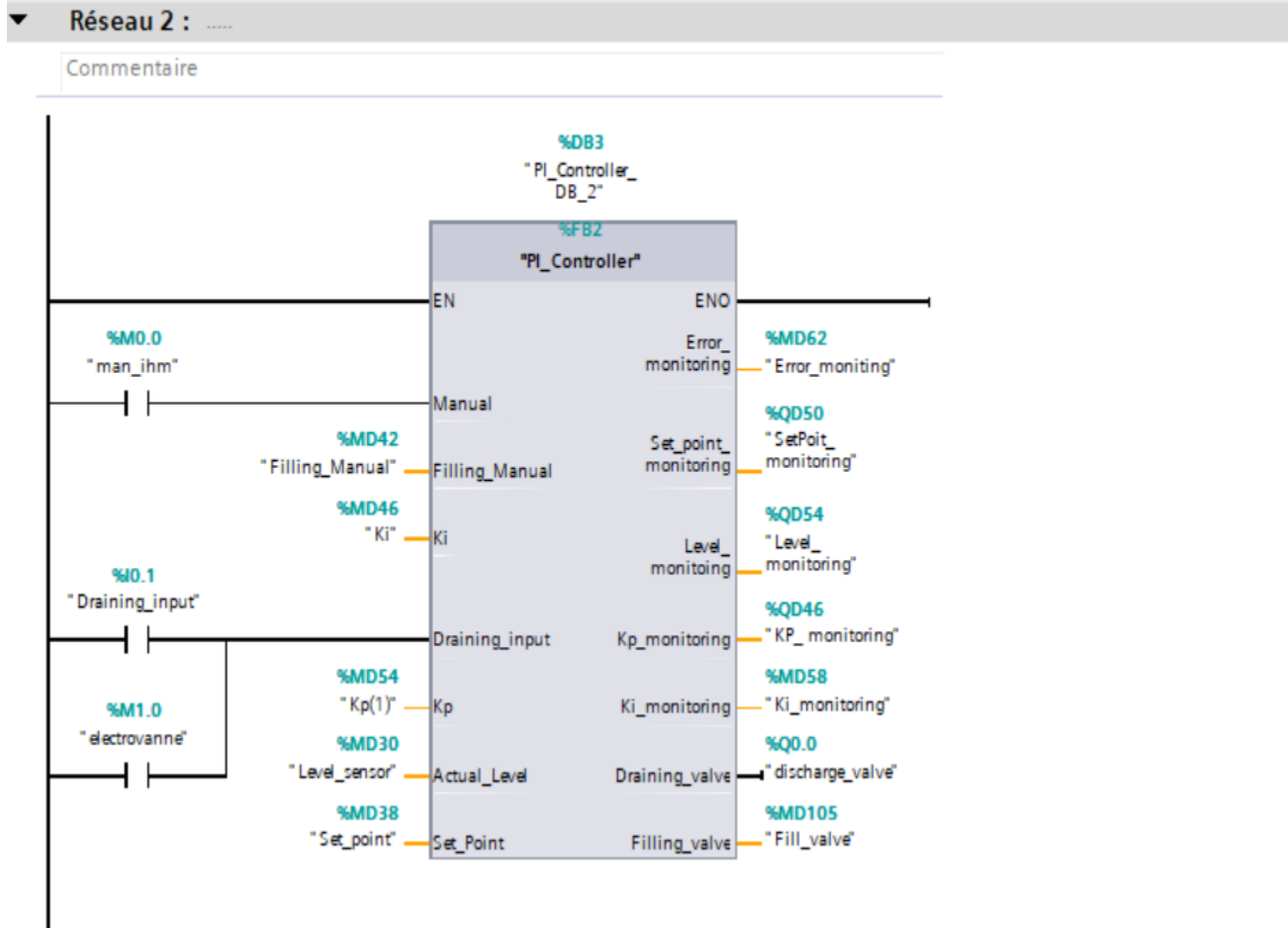


Figure III. 3 Réseau 02
Réseau 03

Ce bloc contient NORM_X et SCALE_X qui convertissent le signal d'entrée de la forme réelle vers la forme Int

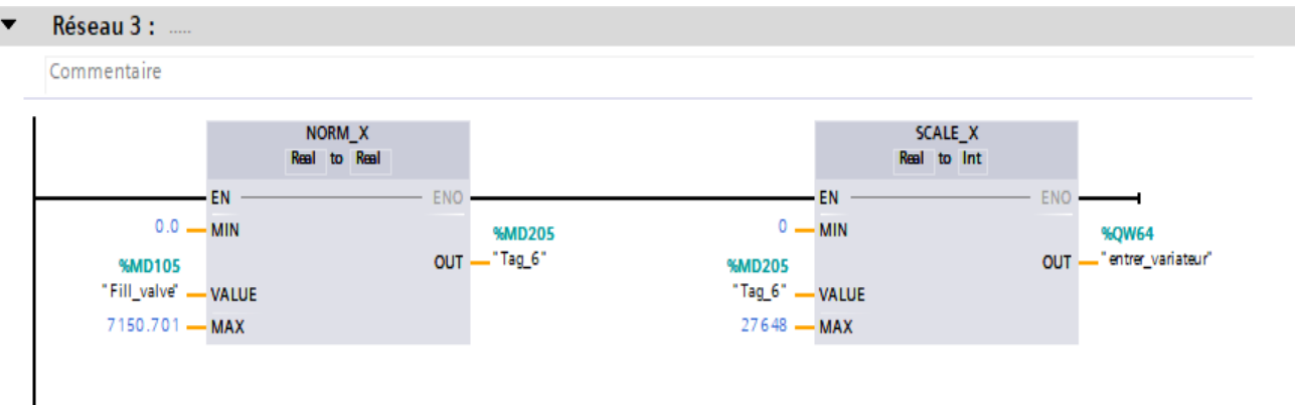


Figure III. 4 Réseau 03
3.2. Bloc de fonctions

Un bloc fonctionnel (FB) est un module de programme réutilisable dans TIA Portal, conçu pour encapsuler des fonctionnalités spécifiques et les rendre accessibles à d'autres parties du programme. Le FB2 représente un FB particulier qui porte le nom "FB2". Il est similaire aux autres FB, mais peut avoir une signification particulière dans le contexte de votre programme.

Ce bloc contient le programme de la régulation PI en langage SCL

```

IF... CASE... FOR... WHILE.. (*...*) REGION
OF... TO DO.. DO...

1 #Error_monitoring := ABS(#Set_Point - #Actual_Level);
2 #Set_point_monitoring := #Set_Point;
3 #Level_monitoing := #Actual_Level;
4 #Temp := REAL_TO_DINT(#Kp * 7.5);
5 #Kp_monitoring := #Temp;
6 #Ki_monitoring := #Ki / 10.0;
7 //error equation
8 #error := #Set_Point - #Actual_Level;
9 //integral action equation
10 #Integral_Output := #Integral_Output + #error ; //summation of error in every cycle and restore in
11 //manual operation + logic for bumpless transfer calculations
12 IF #Manual = 1 THEN
13     #Filling_valve := #Filling_Manual;
14     #Integral_Output := 0.0;
15 ELSE
16     //The automatic condition as controller_output u(t)= proportional + integral
17     #Filling_valve := (#error * #Kp_monitoring) + (#Integral_Output * #Ki_monitoring);
18 END_IF;
19 IF #Filling_valve < 0 THEN
20     #Filling_valve := 0;
21 END_IF;
22 //draining manual output
23 #Draining_valve := #Draining_input;
24 IF #Actual_Level > (#Set_Point + 2) THEN
25     #Draining_valve := 1;
26 END_IF;
27
28 IF #Filling_valve > 10.0 THEN
29     #Integral_Output := #Integral_Output;
30     #Filling_valve := #Filling_valve;
31 END_IF;

```

Figure III. 5 Bloc de fonction (FB2)

3.3. Table de mnémoniques

Est également appelée table d'instructions ou table de mnémoniques, est utilisée pour faciliter la programmation en permettant aux programmeurs d'écrire du code plus facilement compréhensible, claire et lisible

1	Set_point	Standard-Variablen...	Real	%MD38	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Level_sensor	Standard-Variablen...	Real	%MD30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Fill_valve	Standard-Variablen...	Real	%MD105	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	discharge_valve	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	drain	Standard-Variablen...	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	KP	Standard-Variablen...	Real	%MD100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Manual	Standard-Variablen...	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Filling_Manual	Standard-Variablen...	Real	%MD42	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Ki	Standard-Variablen...	Real	%MD46	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Draining_input	Standard-Variablen...	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Kp(1)	Standard-Variablen...	Real	%MD54	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Tag_1	Standard-Variablen...	Bool	%M50.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	KP_monitoring	Standard-Variablen...	DInt	%QD46	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	SetPoiit_monitoring	Standard-Variablen...	Real	%QD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Level_monitoring	Standard-Variablen...	Real	%QD54	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Ki_monitoring	Standard-Variablen...	Real	%MD58	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Error_moniting	Standard-Variablen...	Real	%MD62	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	capteur de niveau	Standard-Variablen...	Word	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	norme_input	Standard-Variablen...	DWord	%MD11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure III. 6 Table de variables standard

3.4. Blocs de données « DB »

Les blocs de données (DB) sont des éléments fondamentaux de TIA Portal pour stocker et gérer les données utilisées par les programmes S7. Ils offrent un moyen structuré et organisé de conserver des variables, des constantes et d'autres informations accessibles à différents blocs du programme.

	Nom	Type de données	Valeur de départ	Rémanence	Accessible ...	Ecritu...	Visible da...	Valeur de ..	Commentaire
1	▼ Input			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	■ Manual	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	■ Filling_Manual	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	■ Ki	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Integral_Gain
5	■ Draining_input	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	■ Kp	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	■ Actual_Level	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	■ Set_Point	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	▼ Output			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	■ Error_monitoring	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	■ Set_point_monitoring	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	■ Level_monitoing	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	■ Kp_monitoring	DInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	■ Ki_monitoring	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	■ Draining_valve	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	■ Filling_valve	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	InOut			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	▼ Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	■ Old_integral	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	■ Integral_Output	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figure III. 7 Bloc de données

4 Partie simulation

4.1. Vue de système IHM

l'IHM est séparé sur en trois vue

- **Vue de mode automatique**

En mode automatique, la pompe fonctionnera en boucle fermée, l'API fournissant des consignes au variateur de vitesse qui contrôle la vitesse de la pompe

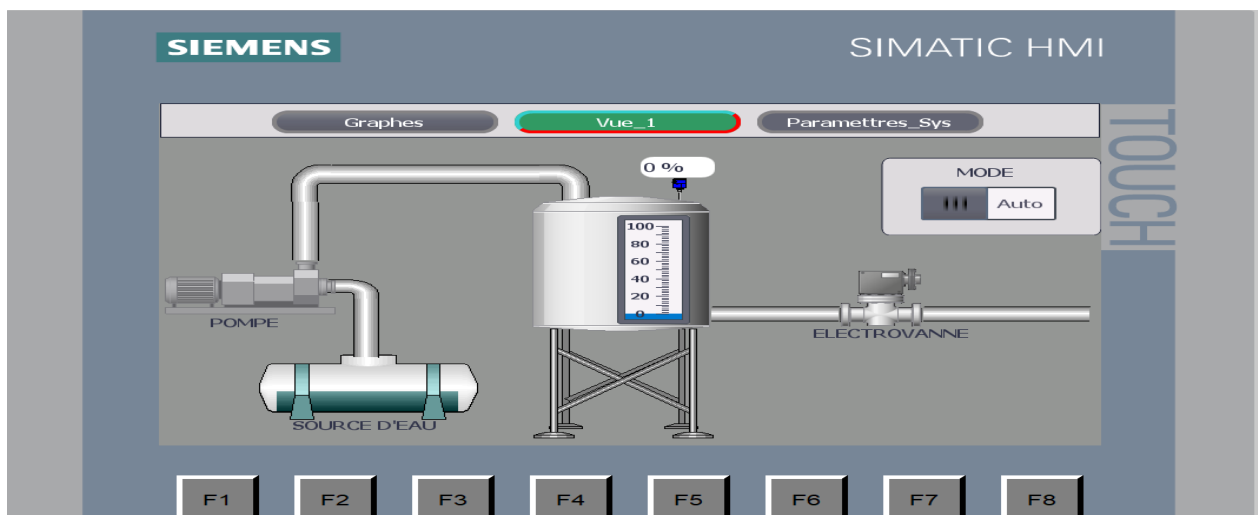


Figure III. 8 Vue général du system en mode automatique

- **Vue de mode manuel**

En mode manuel on peut démarrer la pompe en cliquant sur son icone dans la vue ihm

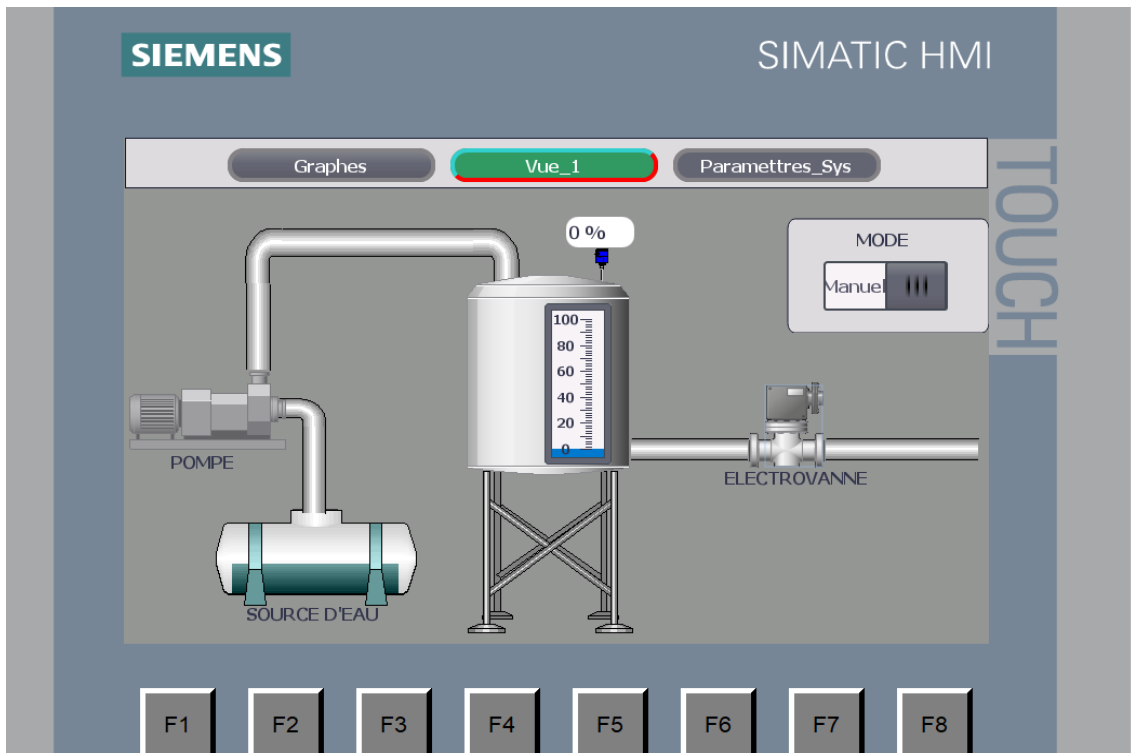


Figure III. 9 Vue général du system en mode manuel

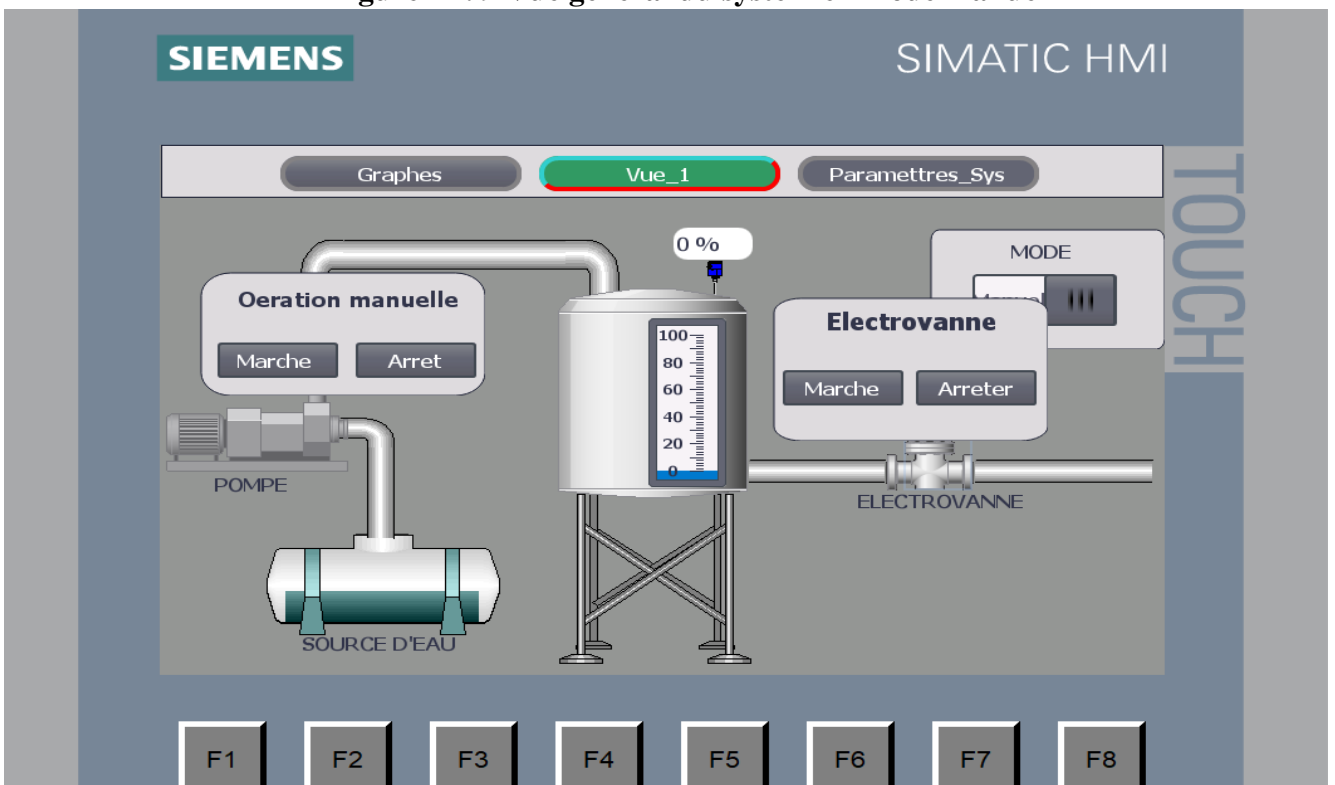


Figure III. 10Vue général du system en mode(clic)

- **Vue paramètres**

Cette vue permet de régler les paramètres du régulateur

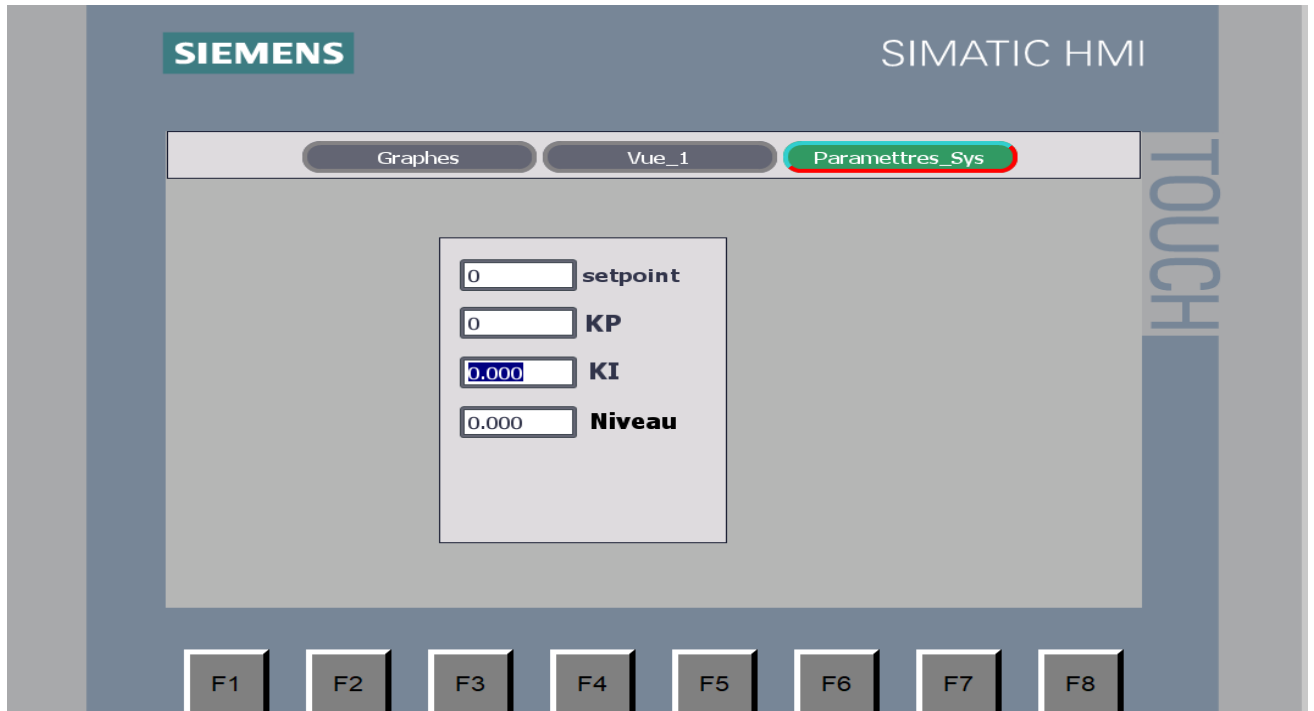


Figure III. 11 Vu paramètres

- **Vue graphes**

Cette vue permet de visualiser les courbes de consigne et de niveau

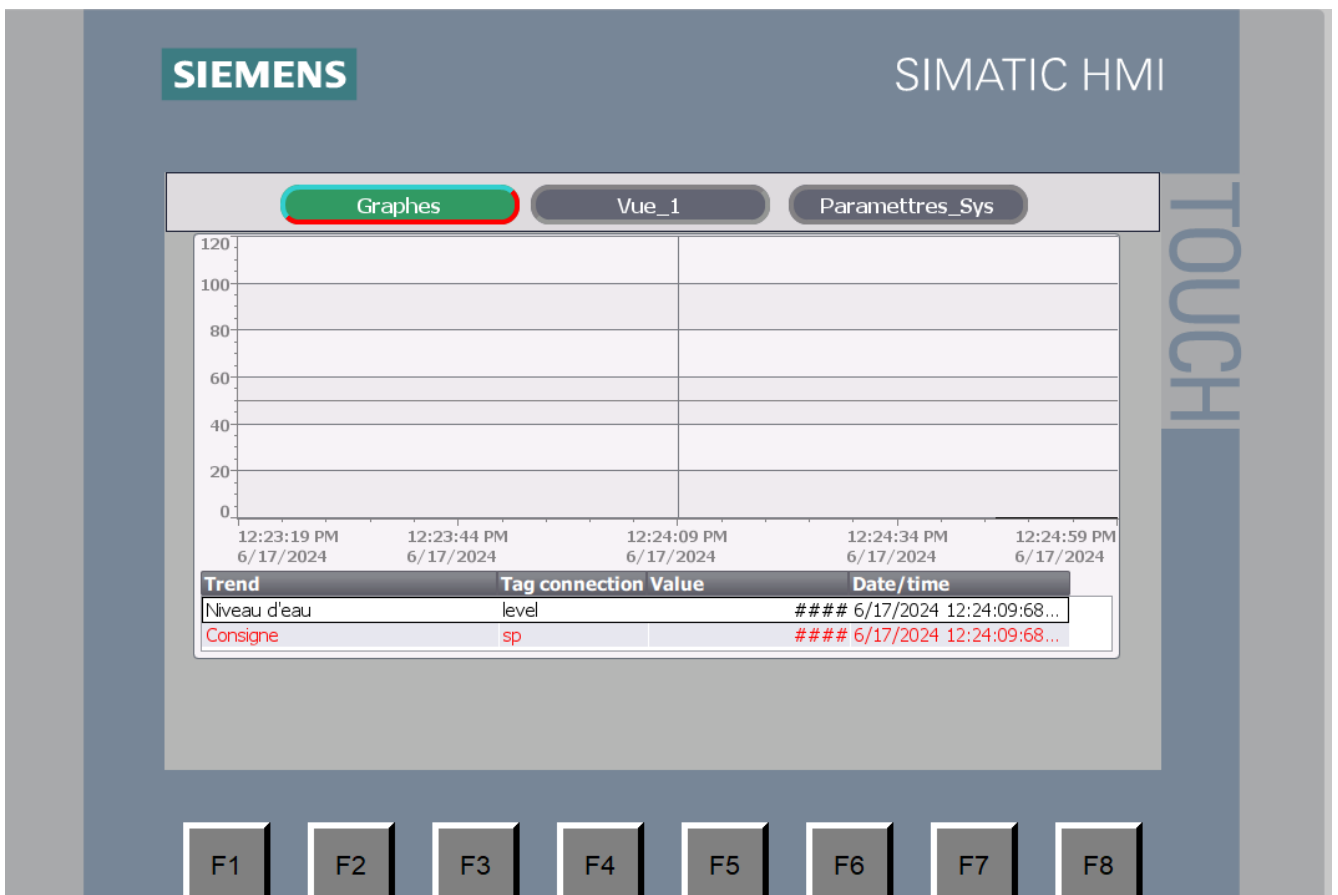


Figure III. 12 Vu graphes

4.2. Communication avec l'application

Tous d'abord il faut connectée le téléphone portable et l'automate programmable avec un seul réseau wifi local

on a configure l'automate sur une adresse IP 192.168.1.100 et l'IHM sur l'adresse 192.168.1.101 l'application est pour but de contrôler à distance et visualiser le système

4.2.1. Présentation de l'application Smart Client de Siemens

Description Générale

L'application Smart Client de Siemens est une interface utilisateur intuitive et puissante qui permet aux opérateurs et gestionnaires de surveiller, contrôler et optimiser en temps réel les systèmes de gestion et d'infrastructures industrielles. Elle offre des fonctionnalités avancées telles que la surveillance en temps réel, une interface personnalisable, des outils d'analyse et de génération de rapports, une intégration facile avec d'autres systèmes, et un système de gestion des alarmes. En outre, elle renforce la communication à distance et facilite l'accessibilité aux systèmes pour plusieurs opérateurs



Figure III. 13 l'icône de l'application androïde sm@rtcleint

simultanément, contribuant ainsi à améliorer l'efficacité énergétique, réduire les coûts opérationnels et de maintenance, et assurer la conformité aux normes de sécurité et de régulation.

4.2.2. Configuration de l'application

L'architecture de communication est basée sur un modèle client-serveur, où :

- **Client** : L'application Smart Client sur les appareils Android agit en tant que client, envoyant des requêtes aux serveurs hébergeant les systèmes de gestion de bâtiments.
- **Serveur** : Les serveurs répondent aux requêtes du client en fournissant les données demandées ou en effectuant les actions requises (comme modifier des paramètres de configuration)

Les données échangées entre l'application Smart Client et les API peuvent inclure :

- **Données de Configuration** : Paramètres des systèmes , configurations des dispositifs, etc.
- **Données en Temps Réel** : Informations sur les états des systèmes, données de capteurs, etc.

- **Commandes et Contrôles** : Instructions pour activer/désactiver des équipements, ajuster des paramètres de fonctionnement, etc.

Après l'installation de l'application on la configurer par les paramètres suivants



Figure III. 14 configuration de l'application

4.2.3. Configuration sur Tia portale

On assure que le PLC est configuré avec une adresse IP dans le même réseau avec le téléphone portable et en activant le smart server dans les paramètres IHM sur TIA PORTAL

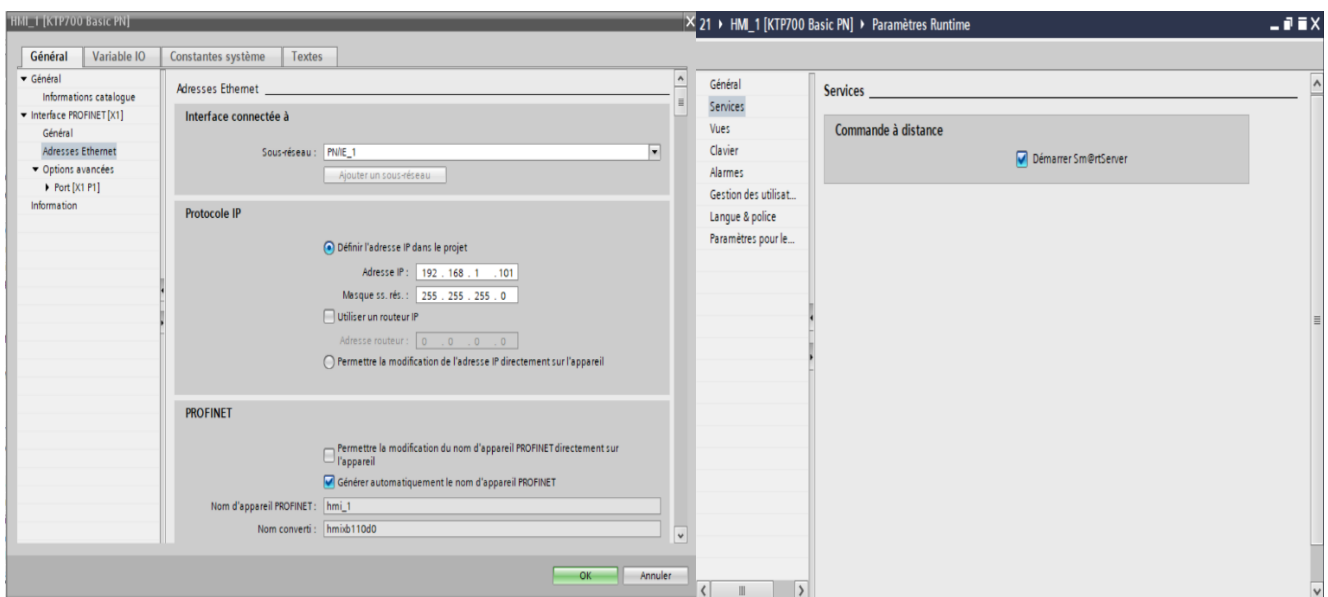


Figure III. 15 Configuration PLC

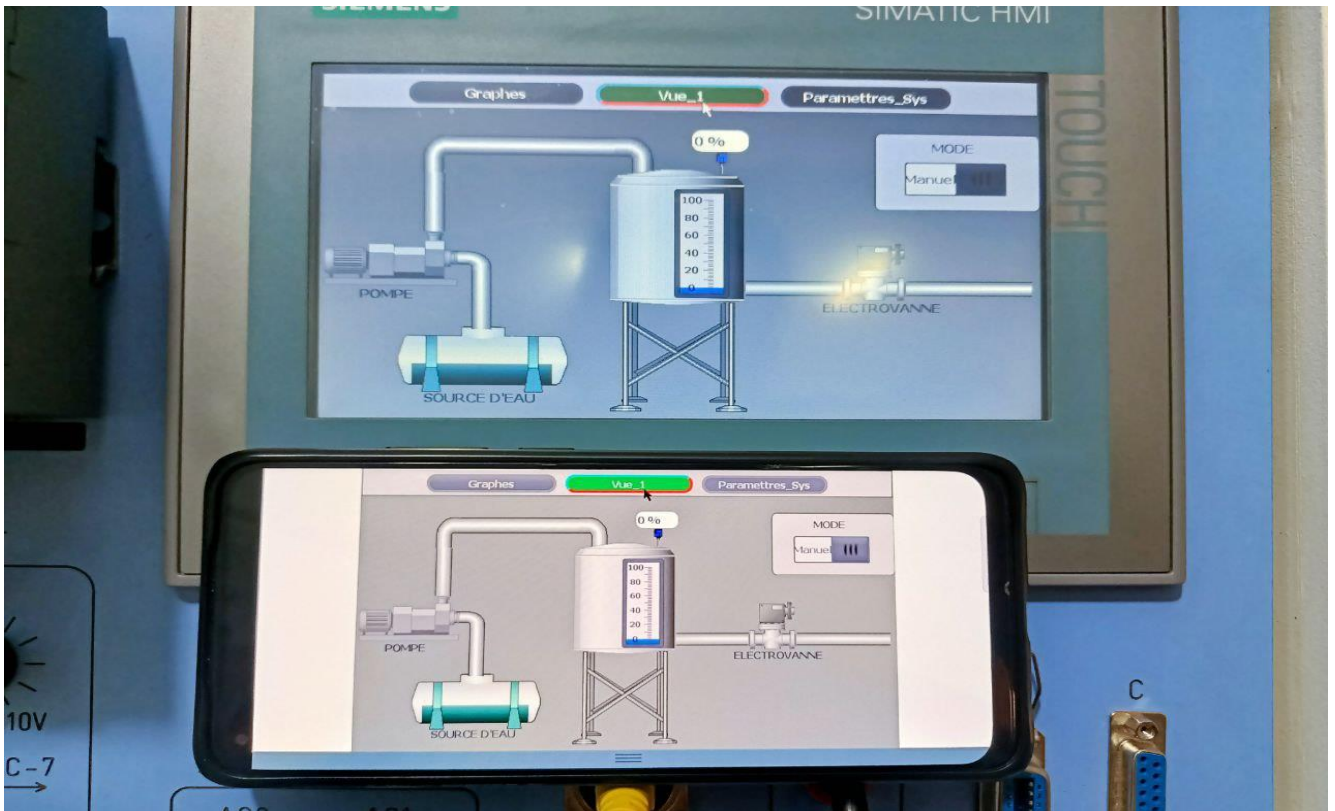


Figure III. 16 Vu IHM sur sm@rt cleint

5 Résultats :

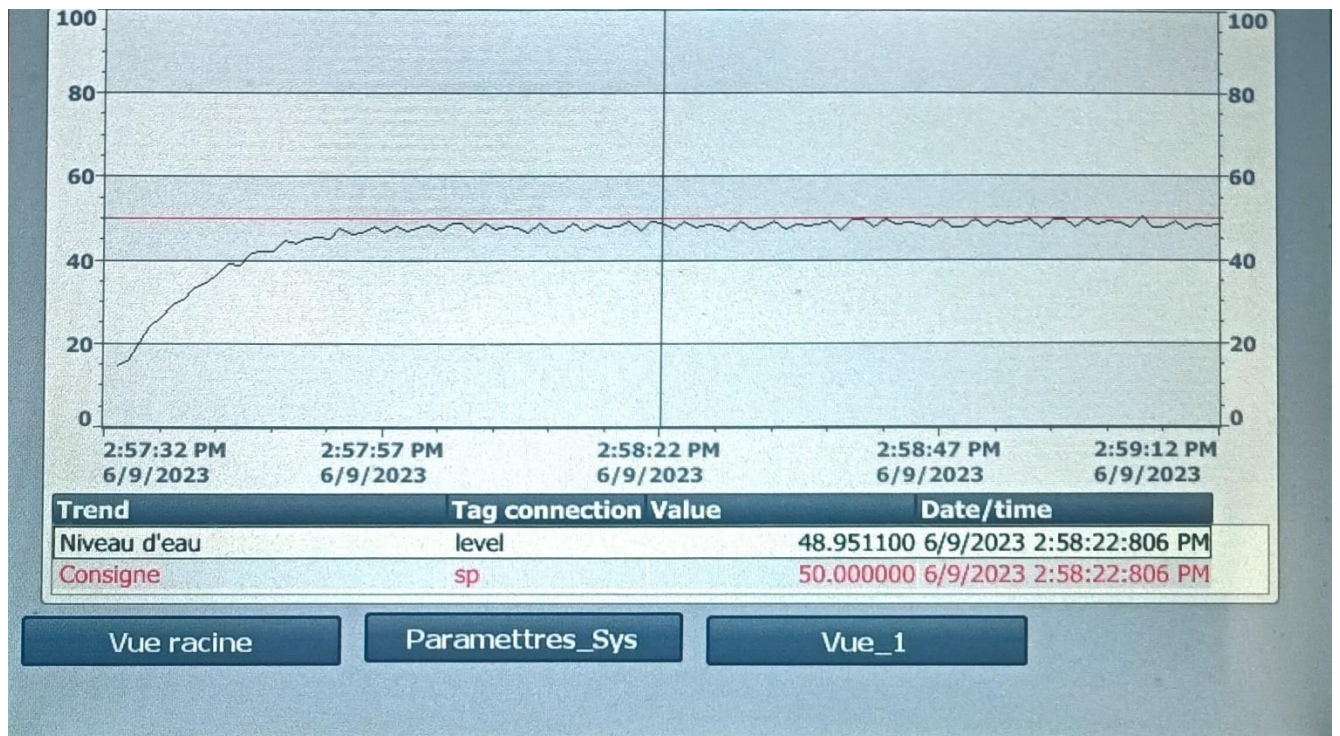


Figure III. 17 Résultats de simulation

Les résultats prise lors du fonctionnement de system après dimensionnement de régulateur PI avec la méthode tâtonnement (essais successifs, consiste à explorer de manière itérative différentes valeurs des gains (K_p) et (K_i) jusqu'à obtenir les performances de régulation souhaitées pour le système contrôlé.)

L'analyse du graphique met en lumière le comportement typique d'un système régulé par un contrôleur PID. La mesure, représentant la valeur réelle du système, augmente progressivement pour atteindre la consigne souhaitée.

Ce comportement est caractéristique de la régulation PID, où l'action de contrôle s'ajuste en fonction de l'écart entre la mesure et la consigne. Plus l'écart est important, plus l'action de contrôle est forte, permettant de réduire l'erreur et d'amener le système vers la valeur souhaitée.

Dans le cas présent, l'augmentation de la mesure indique que le système s'approche de la consigne. On peut en déduire que le contrôleur PID fonctionne efficacement et parvient à amener le système vers la valeur cible.

Une fois la consigne atteinte, la mesure devrait se stabiliser à cette valeur. Le contrôleur PID devrait alors maintenir une action de contrôle minimale pour maintenir le système à la consigne souhaitée.

En conclusion, le graphique illustre les principes fondamentaux de la régulation PID et met en évidence l'efficacité de ce type de contrôleur pour amener un système vers une valeur de consigne définie.

Conclusion Générale

Dans le cadre de ce projet axé sur le contrôle et la supervision de la distribution d'eau, nous avons développé un système automatisé de contrôle de niveau d'eau, associé à une plateforme de supervision et à une modélisation par réseaux de Petri hybride (RPH). Ce système, conçu pour répondre aux besoins spécifiques de la région étudiée, vise à optimiser la distribution d'eau, à réduire les pertes et à améliorer la qualité de l'eau fournie aux populations.

Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances en matière de gestion de l'eau en intégrant des technologies avancées comme les électrovannes, les interfaces homme-machine (IHM), et le réseau PROFINET. Nous avons défini les paramètres de fonctionnement, choisi rigoureusement les composants, et conçu l'architecture logicielle du système de contrôle en utilisant TIA PORTAL V15. La modélisation par RPH a été un outil précieux pour simuler le comportement dynamique du système et optimiser ses performances. De plus, la plateforme de supervision développée permet la gestion et le suivi des données en temps réel, y compris via une application mobile, assurant une communication à distance efficace.

Les tests rigoureux et les simulations effectuées ont validé les performances du système, garantissant son bon fonctionnement dans diverses conditions d'utilisation. L'analyse des résultats obtenus a mis en lumière les avantages significatifs du système proposé en termes d'optimisation de la distribution d'eau, de réduction des pertes et d'amélioration de la qualité de l'eau.

En perspective, nous espérons qu'il y aura de nouvelles étapes dans ce projet. Nous proposons de travailler sur :

- La mesure de la consommation d'eau par habitant, afin de personnaliser la gestion de l'eau.
- Le contrôle de plusieurs réservoirs et ressources en eau simultanément, en créant un réseau intégré de supervision et de contrôle.
- La visualisation de la quantité d'eau consommée par chaque utilisateur sur leur appareil mobile, offrant une transparence et une gestion optimale des ressources hydriques.

Ces perspectives ouvrent la voie à une gestion encore plus efficace et durable de l'eau, contribuant à améliorer l'accès à une eau potable de qualité pour tous.

Bibliographie :

- [1] NS2-25X - NS2-32X - MANUAL DE USUARIO - INGLES.pdf n.d.
- [2] NXB-63.pdf n.d.
- [3] FR_ACS150_UM_C_screen_res.pdf n.d.
- [4] j226_g2r_-s_(s)_general-purpose_relay_datasheet_en.pdf n.d.
- [5] Automate programmable S7-1200 n.d.
- [6] Cos-P DFH, Im S. Basic Panels 2nd Generation n.d.
- [7] Ibrahim R. Systèmes dynamiques discrets n.d.
- [8] Kurovszky M. Etude des systèmes dynamiques hybrides par représentation d'état discrète et automate hybride n.d.
- [9] petri net theory and the modeling of systems (James L. Peterson).pdf n.d.
- [10] David R, Alla H. Discrete, continuous, and hybrid Petri nets. Berlin Heidelberg New York : Springer ; 2005.