



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**
جامعة عبد الحميد ابن باديس



Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° d'ordre : M...../GE/2026

Mémoire de fin d'étude
Présenté pour obtenir le diplôme de
Master académique

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Informatique Industrielle

Présenté Par

KADDOUR Kheira et BEZZEKHAMI Khadra

**Conception et implémentation d'un système SCADA pour le
contrôle et la supervision d'une station de pompage basée sur
un API S7-1200**

Soutenu le 28 / 06 / 2026 devant le jury composé de :

Président :	Mr REBHI Mustapha	MAA	Université de Mostaganem
Examineur :	Mme BENCHELLAL Amel	MCB	Université de Mostaganem
Encadreur :	Mr BENAOUALI Mohamed	MCB	Université de Mostaganem.
Co-encadreur	Mlle OULHISSANE Lynda	Dr	Université de Mostaganem

Année universitai

Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Allah, le Tout-Puissant, pour Sa bénédiction, Son soutien et Sa guidance tout au long de mon parcours. C'est grâce à Sa volonté que j'ai pu surmonter les difficultés rencontrées et mener à bien ce travail, qui représente l'aboutissement de plusieurs années d'efforts et de persévérance.

J'adresse également mes sincères remerciements à mes directeurs de thèse, le professeur **BENAOUALI Mohamed** le professeur **OULHISSANE Lynda**, pour leur soutien inestimable, leur présence constante, leurs précieux conseils et leur confiance tout au long de ce projet. Leur expertise, leur rigueur scientifique et leur soutien indéfectible ont été essentiels à sa réussite

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à Madame **BENCHELLAL Amel**, Présidente du jury Monsieur **REBHI Mustapha**, ainsi qu'à, pour l'honneur qu'elles me font en acceptant d'évaluer ce mémoire. Je les remercie pour l'attention portée à ce travail ainsi que pour leurs remarques et suggestions constructives.

Mes remerciements s'adressent également au directeur du laboratoire **Signaux et Systèmes**, pour nous avoir accueillis au sein du laboratoire et pour les conditions favorables mises à notre disposition afin de mener à terme ce projet.

Je souhaite enfin remercier chaleureusement l'ensemble de mes enseignants qui, depuis mes premières années d'études jusqu'à l'université, ont contribué à ma formation par la transmission de leurs connaissances, leur dévouement et leur engagement. Leurs enseignements ont constitué les fondements essentiels de mon parcours académique et professionnel.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je témoigne ma sincère reconnaissance et mes remerciements les plus respectueux.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À nos chers parents qui n'ont jamais cessé de nous soutenir

À nos chers frères et sœurs

À toute notre famille et à tous ceux que nous aimons

À tous nos amis

À la promotion 2026, spécialisation en Automatisation

À nos professeurs qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours scolaire, de l'école
primaire à l'université

Un immense merci à tous ceux qui nous ont aidés, de près comme de loin.

Résumé

Ce mémoire porte sur la conception et la mise en œuvre d'un système SCADA destiné au contrôle et à la supervision d'une station de pompage basée sur un automate programmable Siemens SIMATIC S7-1200. L'objectif principal de ce travail est de moderniser la gestion des infrastructures hydrauliques en remplaçant les méthodes de commande manuelles par une solution automatisée, fiable et intelligente.

Le système proposé permet de surveiller en temps réel les paramètres essentiels de la station, notamment le niveau d'eau, le débit, l'état de fonctionnement de la pompe et les défauts éventuels. La commande de la station est assurée par un automate S7-1200 programmé en langage Ladder sous l'environnement TIA Portal, tandis que la supervision est réalisée à l'aide de WinCC à travers une interface homme-machine dynamique.

La réalisation d'une maquette pédagogique a permis de valider le fonctionnement du système en modes automatique et manuel. Les résultats obtenus montrent que l'intégration d'un système SCADA améliore la sécurité, la continuité de service, la surveillance des équipements et la gestion des alarmes. Ce travail constitue ainsi une solution efficace pour l'automatisation et la supervision des stations de pompage industrielles.

Mots-clés : SCADA, supervision, station de pompage, automate programmable Siemens S7-1200, automatisation industrielle, passerelle TIA, GRAFCET, commande et entraînement.

ملخص:

تتناول هذه المذكرة تصميم وتنفيذ نظام SCADA للتحكم في محطة ضخ ومراقبتها، اعتماداً على المتحكم المنطقي القابل للبرمجة Siemens SIMATIC S7-1200. يهدف هذا العمل أساساً إلى تحديث تسيير المنشآت الهيدروليكية من خلال استبدال طرق التحكم اليدوية بحل آلي ذكي وموثوق.

يسمح النظام المقترح بمراقبة أهم متغيرات محطة الضخ في الزمن الحقيقي، مثل مستوى الماء، معدل التدفق، حالة تشغيل المضخة، والأعطال المحتملة. تم التحكم في المحطة باستعمال المتحكم S7-1200 المبرمج بلغة Ladder ضمن بيئة TIA Portal، بينما تم إنجاز نظام الإشراف باستعمال برنامج WinCC من خلال واجهة تفاعلية بين الإنسان والآلة.

وقد تم إنجاز نموذج تطبيقي تعليمي من أجل التحقق من عمل النظام في النمطين الآلي واليدوي. أظهرت النتائج أن استعمال نظام SCADA يساهم في تحسين السلامة، ضمان استمرارية الخدمة، مراقبة التجهيزات، وإدارة الإنذارات. لذلك يمثل هذا العمل حلاً فعالاً لأتمتة ومراقبة محطات الضخ الصناعية.

الكلمات المفتاحية: SCADA، الإشراف، محطة الضخ، وحدة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة Siemens S7-1200، الأتمتة الصناعية، بوابة TIA، GRAFCET، التحكم والقيادة.

Abstract:

This thesis focuses on the design and implementation of a SCADA system for the control and supervision of a pumping station based on a Siemens SIMATIC S7-1200 programmable logic controller. The main objective of this work is to modernize hydraulic infrastructure management by replacing manual control methods with a reliable, intelligent, and automated solution.

The proposed system enables real-time monitoring of the main operating parameters of the station, including water level, flow rate, pump status, and possible faults. The pumping station is controlled using an S7-1200 PLC programmed in Ladder language within the TIA Portal environment, while supervision is achieved through a dynamic Human-Machine Interface developed with WinCC.

A pedagogical prototype was designed and implemented to validate the operation of the system in both automatic and manual modes. The obtained results show that the integration of a SCADA system improves safety, service continuity, equipment monitoring, and alarm management. Therefore, this work represents an effective solution for the automation and supervision of industrial pumping stations.

Keywords: SCADA, supervision, pumping station, Siemens S7-1200 PLC, industrial automation, TIA Portal, GRAFCET, control and command.

Liste des tableaux et figure

Figure 1.1 : Exemple d'un système automatique

Figure 1.2 : Fonctions du système SCADA

Figure1.3 : System SCADA

Figure 1.4 : Structure externe Siemens SIMATIC S7-200 CPU 221

Figure 1.5 : Ecran IHM

Figure 1.6 : La pyramide CIM (Pyramide de l'automatisation industrielle)

Figure 2.1 : Présentation de la station de pompage

Figure 2.2 : Architecture de contrôle et supervision

Figure 2.3 : Capteur de niveau a flotteur

Figure 2.4 : Capteur de niveau capacitif

Figure 2.5 : Capteur de pression hydrostatique

Figure2.6 : Capteur de débit mètre

Figure2.7 : Pompe submersible miniature

Figure 2.8 : Pompe à eau électrique (Pompe à diaphragme / Mini pompe DC)

Figure 2.9 : Réservoir de l'eau

Figure 2.10: Voyant LED 24V

Figure 3.1 : Automate programmable

Figure 3.2 : Interface principale du logiciel Siemens TIA Portal

Figure 3.3 : Exemple pour le grafctet

Figure 4.1 : Étapes de conception et d'implémentation d'un système SCADA pour une station de pompage basée sur un API Siemens S7-1200

Figure 4.2 : Préparation de la maquette

Figure 4.3 : Schéma électrique

Figure 4.4 : Préparation des réservoirs

Figure 4.5 : Vue globale de la maquette

Figure 4.6 : Grafset de début

Figure 4.7 : Grafset en mode automatique

Figure 4.8 : L'écran IHM conçu pour ce travail

Figure 4.9 : Interface IHM à l'état initial

Figure 4.10 : Remplissage du réservoir 2

Figure 4.11 : Remplissage du réservoir 3

Figure 4.12 : Création d'alarmes P2 dans l'interface utilisateur graphique

Tableau 1 : Entrées et sorties

Tableau 2 : Des symboles du langage Ladder (LDR) / Schéma à contacts

Tableau 3 : Matériels utilisés

Tableau 4 : Table de variable

Sommaire

Liste des tableaux et figure

Liste des abréviations

Introduction générale

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes SCADA et l'automatisation industrielle

1.1.	Introduction :	15
1.1.1	Définition de l'automatisation industrielle.....	15
1.1.2	Objectif.....	15
1.1.3	Trois éléments essentiels de l'automatisation	16
1.1.4	Les avantages del'automatisation industrielle	16
1.1.5	Systèmes de commande en boucle ouverte	17
1.1.6	Systèmes de contrôle en boucle fermée.....	18
1.2.	Présentation du système SCADA	18
1.2.1	Définition de SCADA	18
1.2.2	Composants du système SCADA	19
1.3.	Configuration matérielle du système de supervision et de contrôle.....	22
1.4	Conclusion :	23

Chapitre 2 : Présentation de la station de pompage

2.1	Introduction	25
2.1.1	Le rôle de la station de pompage	25
2.1.2	Principaux équipements d'une station de pompage	26
2.1.3	Les avantages d'une station de pompage	26
2.2	Description du fonctionnement d'une station de pompage	26
2.3	Architecture de contrôle et supervision	27
2.4	Description des composants physiques d'une station de pompage	27
2.4.1	Capteurs de niveau.....	27
2.4.2	Capteur de débit (débitmètre)	30
2.4.3	La pompe	30
2.4.4	Les réservoirs :.....	32
2.4.5	Voyant LED 24V.....	32

2.5 Conclusion :	33
-------------------------------	----

Chapitre 3 : Choix du matériel et de l'environnement logiciel

3.1	Introduction	35
3.2	Identification des entrées / sorties	35
3.3	Choix de l'automate programmable	36
3.4.1	<i>Principales caractéristiques techniques (Série S7-1200)</i>	37
3.4.2	TIA Portal.....	37
3.4.3	WinCC (SCADA).....	38
3.4.4	Langage de programmation	38
3.4	Sélection des capteurs :.....	39
3.5.1	Caractéristiques des dispositifs de pompage	39
3.5.2	Actionneurs.....	40
3.5.3	Les éléments de commande et de signalisation	40
3.6	Conclusion	41

Chapitre 4 : Conception et mise en œuvre de la station de pompage et de l'interface IHM

4.1	Introduction	43
4.2	Schéma général de réalisation de la maquette pédagogique.....	43
4.3	Préparation de la maquette :	44
4.4	Schéma électrique.....	45
4.5	L'installation technique	45
4.6	Description du cahier de charge	48
4.7	Programmation	50
4.7.1	GRAFCET de fonctionnement de la maquette.....	50
4.7.2	Table de variable	53
4.7.3	Programmation du système en langage Ladder (LD).....	54
4.8	Mise en œuvre de la supervision IHM via WinCC (TIA Portal).....	54
4.9	Présentation des Résultats :.....	55
4.9.10	Étapes de fonctionnement du système en mode supervisé automatique	55
4.10	Configuration des alarmes dans l'interface utilisateur graphique	57
4.11	Conclusion	58
	Conclusion générale.....	59

Référence bibliographique

Liste des abréviations

DC : (directe curent) courant continue.

AC : (Alternating curent) courant alternative.

V : Volt.

IN : Input (entrée).

OUT : Output (sortie).

TOR : Tout Ou Rien.

API : Automate Programmable Industriel.

SCADA : **S**ystème de contrôle et d'acquisition de données en temps réel.

OT : (Operational Technology) La technologie opérationnelle.

IT : (Information Technology) La technologie de l'information.

L'IA : (Intelligence Artificielle).

DCS : (**D**istributed **C**ontrol **S**ystem) *Système de Contrôle Commande Numérique*

Décentralisé - SCND

CPU: Central Processing Units.

RTU: Remote Terminal Unit

PLC: Programmable Logic Controller.

IHM: **I**nterface homme machine.

CIM: Computer Integrated Manufacturing.

HMT : Hauteur manométrique d'aspiration.

GRAFCET : Graphe Fonctionnel de Commande des Etapes et Transitions.

LD: Ladder Diagram.

FBD: Function Bloc Diagram.

Rn : Réceptivité (condition logique de transition).

Xn : Variable (bit mémoire) associée à l'étape n.

P : Pompe.

Q : Débit.

AUTO : Automatique.

Tia Portal: Totally Integrated Automation portal.

Introduction générale

L'évolution rapide des technologies industrielles et l'émergence de l'Industrie 4.0 ont profondément transformé les méthodes de production, de contrôle et de supervision des procédés industriels. Dans ce contexte, l'automatisation industrielle occupe une place essentielle en permettant d'améliorer la productivité, la fiabilité, la sécurité et la qualité des installations. Les systèmes de supervision et d'acquisition de données (SCADA) constituent aujourd'hui des outils incontournables pour la gestion et le contrôle en temps réel des processus industriels complexes.

Les stations de pompage représentent des infrastructures stratégiques dans de nombreux domaines tels que l'alimentation en eau potable, l'irrigation agricole, les installations industrielles et le traitement des eaux. Leur fonctionnement exige une surveillance permanente afin de garantir la continuité du service, la protection des équipements et l'optimisation de la consommation énergétique. L'intégration d'un système SCADA associé à un automate programmable industriel (API) permet de répondre efficacement à ces exigences grâce à la collecte des données, la visualisation des paramètres de fonctionnement, la gestion des alarmes et la commande à distance des équipements.

Dans ce cadre, notre travail porte sur la conception et l'implémentation d'un système SCADA destiné au contrôle et à la supervision d'une station de pompage basée sur un automate Siemens S7-1200. L'objectif principal est de développer une solution automatisée capable d'assurer le fonctionnement fiable de la station tout en offrant une interface de supervision intuitive permettant le suivi en temps réel des différents paramètres du système.

Pour atteindre cet objectif, une étude théorique des systèmes SCADA, de l'automatisation industrielle et des protocoles de communication a été réalisée. Ensuite, une analyse détaillée de la station de pompage et de ses composants a permis d'établir le cahier des charges fonctionnel du projet. Le choix du matériel et de l'environnement logiciel a été effectué en privilégiant les solutions Siemens, notamment l'automate S7-1200, le logiciel TIA Portal et WinCC. Enfin, une maquette pédagogique a été conçue et mise en œuvre afin de valider les stratégies de commande, de supervision et de gestion des alarmes.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres. Le premier chapitre présente les généralités sur les systèmes SCADA et l'automatisation industrielle. Le deuxième chapitre

est consacré à la présentation de la station de pompage et à l'étude de ses différents composants. Le troisième chapitre décrit le choix du matériel et de l'environnement logiciel utilisés. Enfin, le quatrième chapitre expose la réalisation pratique du système, sa programmation, sa supervision ainsi que l'analyse des résultats obtenus.

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes SCADA et l'automatisation industrielle

1.1. Introduction :

À l'ère de l'innovation et des technologies, face aux progrès du secteur industriel et à la demande croissante de productivité et de précision, les systèmes automatisés de surveillance et de contrôle sont devenus indispensables dans de nombreux secteurs industriels. Parmi les plus importants figurent les systèmes SCADA et les systèmes d'automatisation industrielle ; ce chapitre les présente afin d'en exposer les concepts généraux, les composants, les fonctions et l'importance dans le domaine industriel.

1.1.1 Définition de l'automatisation industrielle

L'automatisation industrielle consiste à utiliser des systèmes de contrôle, des machines, des logiciels et d'autres technologies de l'information pour gérer les processus de fabrication et de production industrielle.



Figure 1.1 : Exemple d'un système automatique [1]

1.1.2 Objectif

Ce système vise à réduire les besoins en personnel, à améliorer l'efficacité de la production et la qualité des produits, à accroître la fiabilité du système et à diminuer les coûts et les risques de production.

Il vise également à remplacer ou à assister les opérateurs humains dans la surveillance et le contrôle de divers systèmes industriels, rendant ainsi les opérations plus rapides et sûres.

1.1.3 Trois éléments essentiels de l'automatisation

Les systèmes d'automatisation industrielle reposent sur trois éléments de base, à savoir :

- **Système de contrôle** : Dispositifs tels que les (PLC) et les (DCS). Ces derniers constituent le « cerveau » du système d'automatisation, exécutant une logique et des instructions prédéfinies.
- **Détection et rétroaction** : Des capteurs surveillent en temps réel les paramètres physiques (température, pression et position). Ces données sont transmises au système de contrôle pour obtenir une régulation en boucle fermée.
- **Mécanismes d'actionnement** : Ces mécanismes, tels que les moteurs, les vannes et les robots, sont chargés de traduire les commandes du système de contrôle en actions physiques. Ils constituent les éléments terminaux du système d'automatisation.

1.1.4 Les avantages de l'automatisation industrielle

- Amélioration de la production

Les avantages de l'automatisation des tâches vont bien au-delà d'une simple augmentation de l'efficacité des processus grâce à une exécution plus rapide des tâches. Elle permet également une production continue, 24 h/24 et 7 j/7.

- Qualité

Limiter les processus manuels signifie réduire le risque de négligences et d'erreurs ayant des répercussions sur la qualité du produit.

- Réduction des coûts

Bien que l'automatisation puisse nécessiter un investissement initial, Elle génère des économies substantielles. Ceci est dû à plusieurs facteurs, notamment la réduction des erreurs, qui rend le produit plus rentable, et la réduction des déchets résultant des erreurs.

- **Flexibilité**

Grâce à un meilleur contrôle des systèmes, ces derniers peuvent s'adapter plus facilement à différentes situations, comme une augmentation de la charge de travail ou l'introduction de nouveaux éléments dans la production.

- **Supervision réduite**

Une fois le système validé, les problèmes sont très rares et, en cas de dysfonctionnement, les systèmes sont conçus pour signaler les incidents. De ce fait, leur fonctionnement nécessite moins de supervision.

1.1.5 Systèmes de commande en boucle ouverte

Un système de commande en boucle ouverte est un système dans lequel l'action de commande est indépendante de la sortie. En d'autres termes, la sortie du système n'est ni mesurée ni renvoyée vers le contrôleur pour corriger ou ajuster la commande. Le système exécute ainsi une action prédéfinie sans tenir compte de l'état réel de la sortie ou des perturbations pouvant affecter le procédé.

Principaux avantages d'un système de commande en boucle ouverte :

Les systèmes de commande en boucle ouverte présentent plusieurs avantages qui les rendent adaptés à de nombreuses applications :

- **Simplicité** : leur structure est relativement simple, car ils ne nécessitent ni capteurs de rétroaction ni mécanismes de correction. Cette simplicité facilite leur conception, leur mise en œuvre, leur maintenance et réduit leur coût.
- **Faible coût** : l'absence de dispositifs de mesure et de régulation rend ces systèmes plus économiques à concevoir et à installer.
- **Rapidité de fonctionnement** : la commande étant exécutée directement, sans traitement d'un signal de retour, le temps de réponse est généralement plus court.
- **Bonne stabilité intrinsèque** : en l'absence de boucle de rétroaction, le système ne présente pas de risque d'instabilité lié à un mauvais réglage de la commande. Toutefois, cette stabilité ne signifie pas que les performances restent constantes face aux perturbations ou aux variations des conditions de fonctionnement, puisque le

système ne peut pas corriger automatiquement les écarts entre la sortie réelle et la sortie souhaitée.

1.1.6 Systèmes de contrôle en boucle fermée

Un système en boucle fermée analyse ses performances et ajuste son fonctionnement en conséquence. Contrairement aux systèmes sans rétroaction, il contrôle en permanence ses performances, permettant ainsi des corrections dès que nécessaire. Fonctionnant de manière autonome pour rester sur la cible, il améliore sa précision grâce à des mises à jour constantes.[2]

1.2. Présentation du système SCADA

Les premiers systèmes SCADA sont apparus dans les années 1960. Pour la première fois il devenait possible d'actionner une commande de terrain (une vanne par exemple) depuis un centre de contrôle à distance, plutôt que par une intervention manuelle sur site. Aujourd'hui, les systèmes SCADA ont intégré de nombreuses avancées technologiques (réseaux, électronique, informatique...) et sont devenus omniprésents sur les installations à caractère industriel. De ce fait, leur fiabilité et leur protection sont également devenues des enjeux importants. [3]

1.2.1 Définition de SCADA

Un système SCADA est un système informatique conçu pour superviser les processus industriels. Il permet la centralisation et l'affichage des données, souvent sous une forme quasi-graphique, sur les postes de travail des opérateurs. Il permet également l'interaction avec les équipements critiques tels que les moteurs, les pompes, les capteurs et les vannes, ainsi que l'enregistrement des événements dans des fichiers journaux

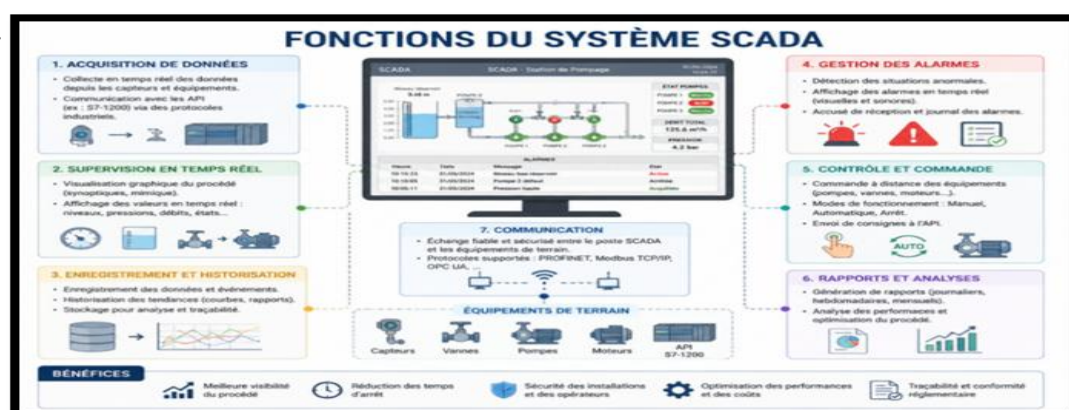


Figure 1.2 : Fonctions du système SCADA [4]

1.2.2 Composants du système SCADA

Un système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) se compose de plusieurs éléments qui fonctionnent ensemble pour assurer la supervision, le contrôle et l'acquisition de données d'un processus industriel, notamment :

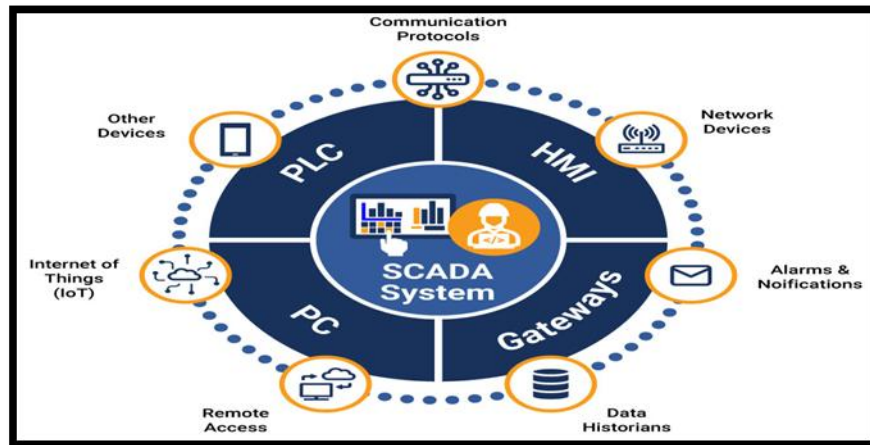


Figure1.3 : System SCADA [5]

- RTU (Remote Terminal Unit) : Dispositif collectant les données des capteurs de terrain et les envoyant au système central
- PLC (Programmable Logic Controller) : Unité de commande programmable automatisant les processus locaux et gérant les signaux en temps réel.
- Réseau de communication : Infrastructure connectant tous les composants SCADA, garantissant une transmission de données sécurisée et continue. [6]

➤ Capteurs et Actionneurs

Capteurs : Dispositifs qui mesurent des variables physiques telles que la Température, la pression, le niveau de liquide, le débit, etc., et convertissent ces Mesures en signaux électriques.

Actionneurs : Dispositifs qui exécutent des actions en réponse à des commandes, Comme des vannes, des moteurs, et des relais.

➤ Automate programmable industriel (API)

Structure interne

Les API comportent quatre principales parties

- Une unité de traitement (un processeur CPU) ;

- Une mémoire
- Des modules d'entrées-sorties
- Des interfaces d'entrées-sorties
- Une alimentation 230 V, 50/60 Hz (AC) – 24 V (DC)

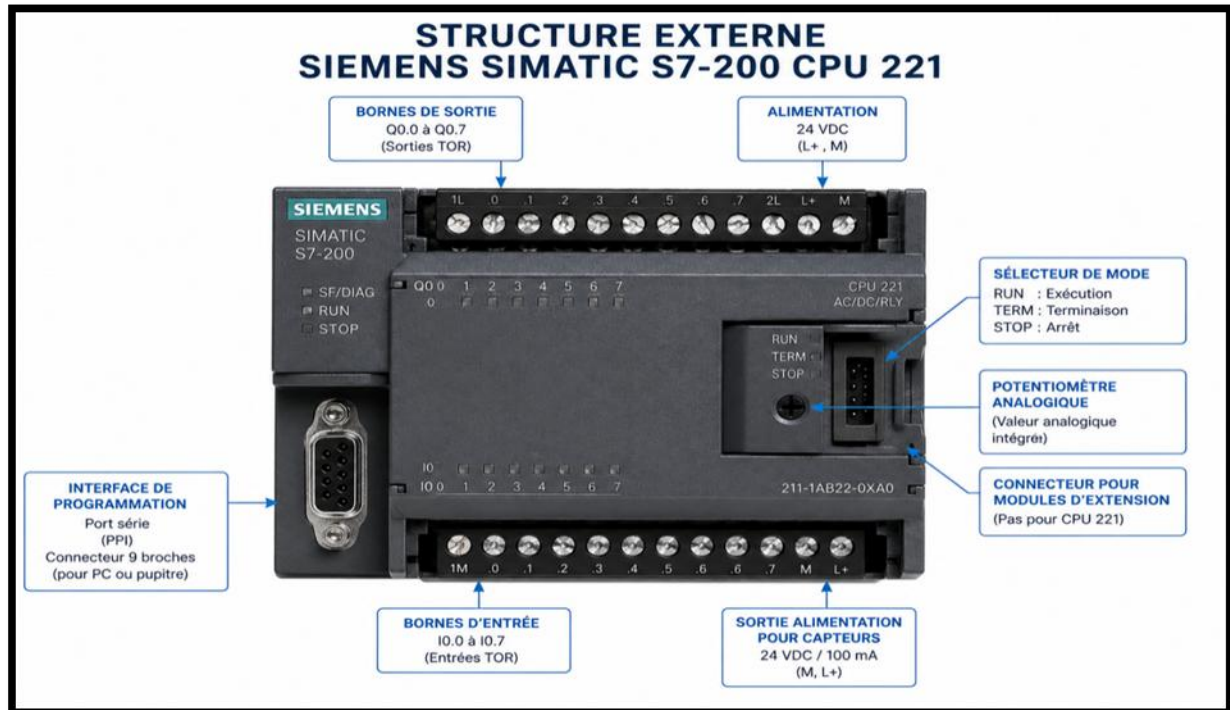


Figure 1.4 : Structure externe Siemens SIMATIC S7-200 CPU 221

- **Interface homme machine (IHM) :** Interface graphique permettant aux opérateurs de visualiser les données, d'émettre des commandes et de surveiller les systèmes.

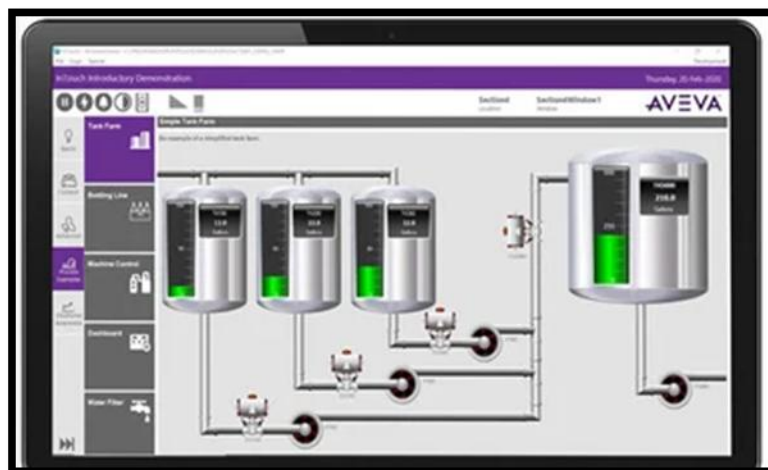


Figure 1.5: Ecran IHM

➤ **Protocoles de communication industrielle**

Les protocoles de communication industrielle sont des ensembles de règles qui régissent l'échange de données et d'informations entre les appareils et les applications. Ils définissent la syntaxe, les procédures et les règles de gestion des erreurs pour cet échange, à l'instar des langages de programmation en génie logiciel. Dans les environnements de production, ces protocoles déterminent quels appareils peuvent s'intégrer à quelles applications, et inversement. Les intégrations **OT** à OT courantes incluent la connexion des appareils aux **IHM**, aux systèmes SCADA et aux applications **MES**. À l'ère de l'industrie 4.0 et de l'industrie 4.0, les intégrations **OT** à **IT** se multiplient, notamment pour l'IoT, l'analyse de données, la BI et l'IA

- **Modbus :**

Modbus (MODIcon BUS) est un protocole de communication série initialement publié par MODIcon (aujourd'hui Schneider Electric) en 1979 pour une utilisation avec ses automates programmables industriels. Modbus est devenu un protocole de communication standard et désormais un moyen couramment disponible pour connecter des appareils électroniques industriels. Modbus est maintenant un protocole ouvert et largement accepté du domaine public (open, public-domain Protocol). Il est souvent utilisé pour connecter un ordinateur de supervision à une unité terminale distante (Remote terminal unit RTU) dans les systèmes de contrôle de supervision et d'acquisition de données (SCADA).[7]

Types Modbus :

- Modbus RTU
 - Modbus ASCII
 - Modbus TCP/IP Probus
-
- **PROFIBUS** : (Process Field Bus) est le nom d'un type de bus de terrain propriétaire et de son protocole, inter-automates et de supervision. Il est devenu peu à peu une norme de communication dans le monde de l'industrie ces dernières années, mais son usage tend à disparaître au profit d'autres bus de terrain ou de réseaux.[7]

Dans l'industrie, on trouve essentiellement deux variantes :

- Profibus-DP (Decentralized Peripherals) est utilisé pour connecter des équipements actifs et des détecteurs à un contrôleur central dans des applications de production industrielle.
- Profibus-PA (Process Automation) est utilisé pour des équipements de mesure et de surveillance.
- **Profinet**

PROFINET est une norme de communication basée sur Ethernet industriel offrant une vaste gamme d'applications le protocole utilise TCP/IP et les normes de technologie de l'information, permet un traitement en temps réel et l'intégration de systèmes de bus de terrain. [8]

- **Ethernet industriel**

Le terme « Ethernet industriel » désigne un ensemble de protocoles industriels utilisant la couche physique et les protocoles Ethernet standard.[9]

Un réseau Ethernet industriel permet de connecter différents types d'équipements au sein d'un même réseau :

- Équipements industriels (utilisant des protocoles industriels).
- Équipements non industriels (utilisant d'autres protocoles Ethernet).

1.3. Configuration matérielle du système de supervision et de contrôle.

La supervision au sein de la hiérarchie d'une société de production est illustrée par l'image ci-après :

- **La pyramide CIM**

Le CIM , soit Système Intégré de Production (SIP)) est une stratégie capable d'accélérer et d'améliorer la circulation de l'information à tous les niveaux de l'entreprise. Le CIM décrit les différents niveaux de communication sous une forme quantitative des données à véhiculer.

Le modèle de la pyramide CIM offre une structure hiérarchisée des différents niveaux

Fonctionnels mis en œuvre dans une usine. Entre chacun de ces niveaux, et à l'intérieur de ces niveaux, il existe un besoin en communication spécifique qui s'effectue au moyen de Différents types de réseaux.

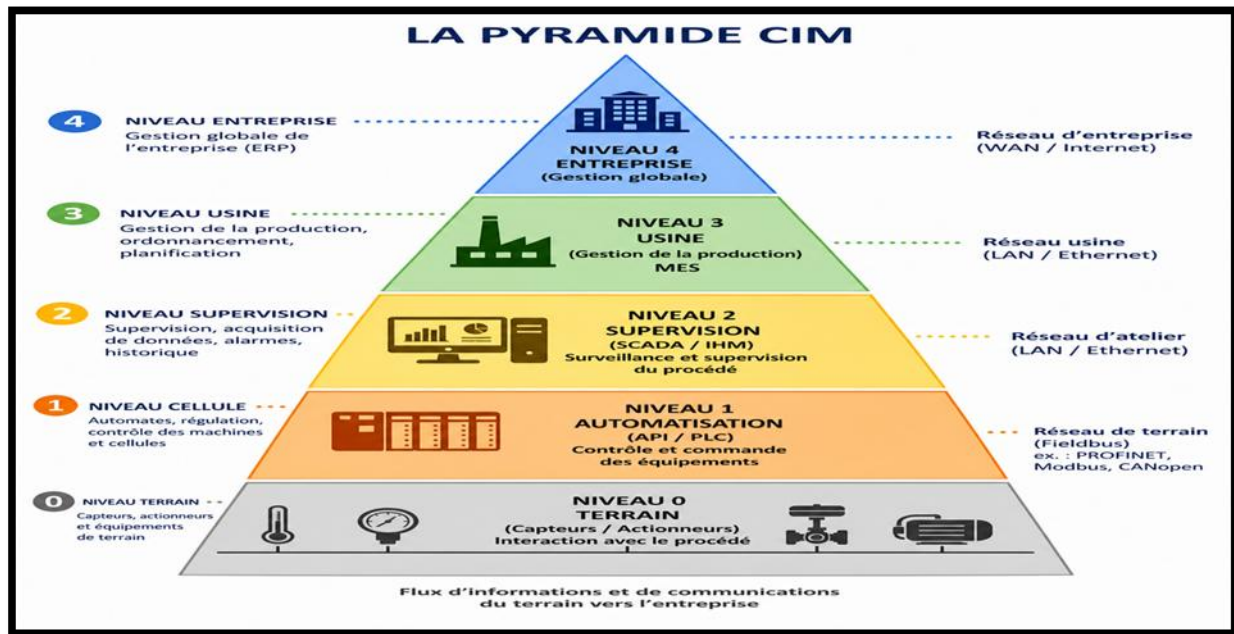


Figure1.6 : La pyramide CIM (Pyramide de l'automatisation industrielle)

1.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un système industriel en mettant en évidence ses différents composants ainsi que son architecture globale. Une attention particulière a été accordée au système SCADA, qui joue un rôle essentiel dans la supervision, le contrôle et la visualisation des processus industriels en temps réel. Ce système permet non seulement de centraliser les informations issues du terrain, mais aussi d'assurer une prise de décision rapide grâce à l'affichage des données et la gestion des alarmes.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons la description détaillée d'une station de pompage ainsi que ses principaux composants.

Chapitre 2 : Présentation de la station de pompage

2.1 Introduction

Une station de pompage est une installation technique conçue pour transporter l'eau et d'autres liquides d'un endroit à un autre.

Dans ce chapitre, nous aborderons son fonctionnement en traitant des points suivants :

- Son objectif
- Son emplacement
- Sa conception technique
- La composition de ses équipements hydrauliques et électriques (pompes, vannes, moteurs et panneaux de commande). Elle comprend des ouvrages de génie civil (un réservoir, un bâtiment) et des équipements mécaniques.



Figure 2.1 : Présentation de la station de pompage

2.1.1 Le rôle de la station de pompage

Le rôle de la station de pompage se résume dans les points suivants :

- Assurer le transfert de l'eau vers le réservoir ou le réseau.
- Maintenir la pression et le débit requis.
- Protéger les équipements et garantir la continuité de service.
- Optimiser la consommation énergétique.

2.1.2 Principaux équipements d'une station de pompage

La station de pompage contient les équipements suivants :

1. Pompes : assurent le transfert de l'eau.
2. Moteurs électriques : entraînent les pompes.
3. Vannes : permettent l'isolement et le réglage du débit.
4. Capteurs : mesurent les paramètres (niveau, pression, débit).
5. Tableau électrique : alimentation et protection des équipements.

2.1.3 Les avantages d'une station de pompage

En résumé les avantages d'une station de pompage dans :

- Surveillance en temps réels.
- Réduction des temps d'arrêt.
- Protection des équipements.
- Optimisations énergétiques.

2.2 Description du fonctionnement d'une station de pompage

Une station de pompage est un système automatisé destiné à transférer un fluide (généralement de l'eau) d'un point bas vers un point plus élevé ou vers un réseau de distribution, en assurant un débit et une pression contrôlés. Son fonctionnement repose sur l'interaction entre des capteurs, des actionneurs et un système de commande (automate programmable).

Le fonctionnement de la station de pompage suit une logique simple :

- Le fluide est stocké dans un réservoir ou une bache de stockage.
- Lorsque le niveau baisse ou qu'un besoin est détecté, le système déclenche une ou plusieurs pompes.
- Les pompes aspirent le fluide et le refoulent vers le réseau ou un réservoir supérieur.
- Une fois le niveau souhaité atteint, les pompes sont arrêtées automatiquement.

Il existe plusieurs modes de fonctionnement de la station :

- **Mode automatique** : fonctionnement des pompes selon niveaux détectés.
- **Mode manuel** : commande directe des pompes via l'IHM.

- **Mode maintenance** : mise hors service d'une pompe sans déclencher d'alarmes.

2.3 Architecture de contrôle et supervision

L'architecture de contrôle et de supervision de la station de pompage repose sur l'API Siemens S7-1200, qui traite les données des capteurs et commande les pompes selon la logique programmée. Le système SCADA assure la surveillance en temps réel, l'affichage des alarmes et l'interaction avec l'opérateur. La communication entre les différents éléments garantit un fonctionnement fiable, une meilleure sécurité et une maintenance facilitée.

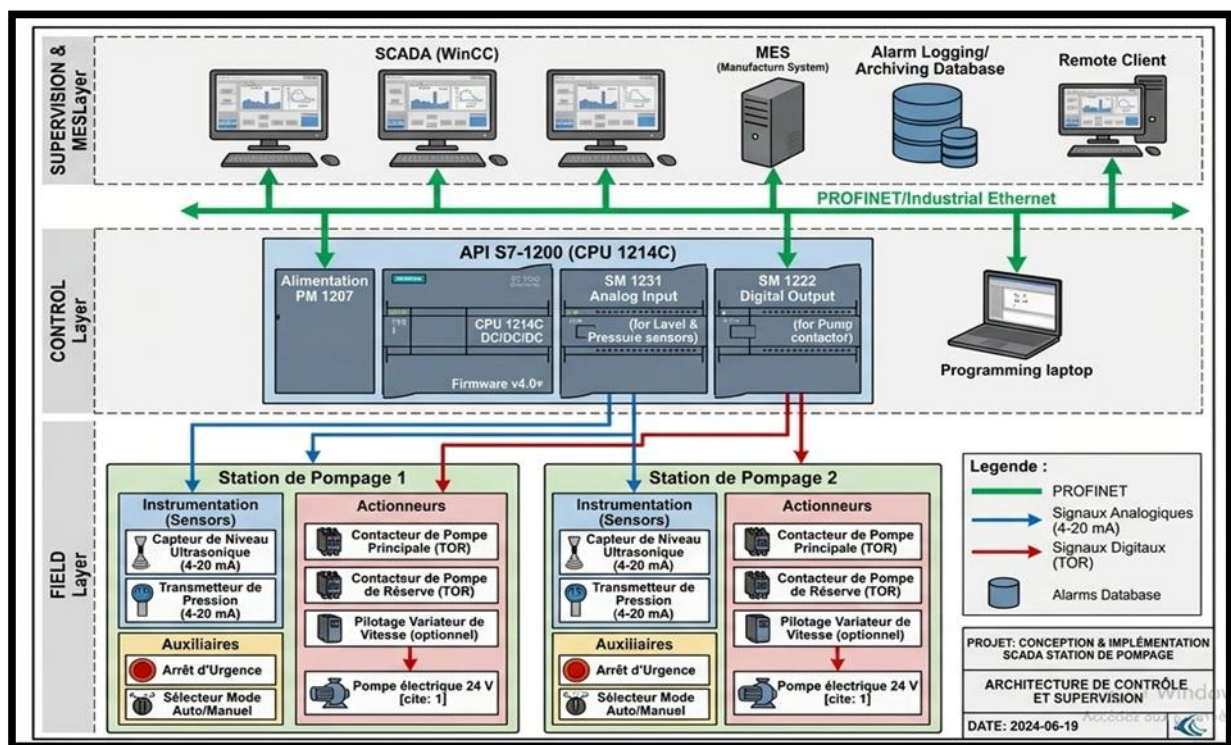


Figure 2.2 : Architecture de contrôle et supervision

2.4 Description des composants physiques d'une station de pompage

La station de pompage se compose de plusieurs composants physiques tels que :

2.4.1 Capteurs de niveau

Un capteur de niveau de liquide est un dispositif électronique qui mesure le niveau de solides, de liquides ou de gaz dans une cuve. Ce type de détecteur de niveau de liquide fonctionne comme une alarme de niveau haut, signalant un risque d'inondation, ou comme

une alarme de niveau bas. Un capteur de niveau continu est plus performant, permettant une surveillance du niveau de liquide dans l'ensemble du système.

➤ **Le capteur a flotteur :**

Il réalise des évaluations directes du niveau d'un liquide. C'est un appareil simple et économique, qui requiert un entretien régulier en raison de son interaction avec le matériau mesuré. Ce genre de capteur, employé dans divers domaines industriels, est insensible à la viscosité du liquide et à la formation de mousse. Toutefois, il se montre sensible aux mouvements de surface du liquide.

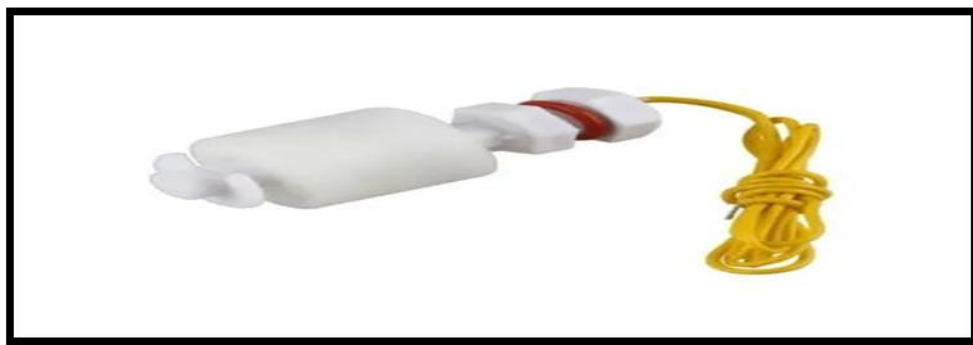


Figure 2.3 : Capteur de niveau a flotteur [10]

➤ **Le capteur a ultrason :**

Via sa sonde, il détermine la vitesse des ondes sonores à fréquence élevée qui sont renvoyées par la surface du matériau à évaluer. Il est capable de recueillir des informations sur les niveaux de liquides non transparents, mais également sur des matières solides telles que les graines, les granulés ou la poudre. Il n'est pas recommandé d'effectuer des mesures sur des produits qui moussent ou sont poussiéreux. Le détecteur produit un signal électrique de sortie qui est proportionnel à la quantité de matière présente dans le conteneur. Cette technologie par ultrasons nécessite très peu de maintenance.

➤ **Capteur de niveau capacitif :**

Les capteurs de niveau capacitifs sont des appareils de mesure industriels utilisés pour déterminer le niveau de solides et de liquides grâce à une sonde capacitive de proximité. La précision et la fiabilité de la détection sont assurées par la variation de la sensibilité du capteur, qui influe sur la mesure du niveau. Le CAMLogic PFG06 est un capteur de niveau

capacitif basé sur la capacité électrique d'un condensateur, offrant une mesure sans fil et sans pièces mécaniques mobiles. Ce capteur capacitif sans contact, adapté aux solides, y compris les produits alimentaires, se monte facilement à la verticale, à l'horizontale ou en angle. Il est donc idéal pour les silos, les cuves et autres installations de stockage[11].



Figure 2.4 : Capteur de niveau capacitif [11]

Avantage :

- Diminution des dépenses par une mise en œuvre aisée et rapide, l'étalonnage s'effectuant par une simple pression de bouton.
- Mesure précise et sécurisée grâce à la compensation active du colmatage.
- Utilisation universelle grâce à l'abondance de certificats et d'approbations.
- Délai de réponse rapide
- Les composants en contact avec le processus sont fabriqués à partir de matériaux anticorrosion et approuvés par la FDA.
- Protection contre les surtensions en deux étapes
- L'étalonnage est superflu suite au changement de l'électronique.

➤ Capteur de pression hydrostatique :

Un capteur de pression hydrostatique est un appareil servant à mesurer les niveaux de liquide, notamment lorsque la pression du liquide augmente avec le niveau de remplissage. Cette pression hydrostatique est transmise à la cellule de mesure par un diaphragme en acier inoxydable. La formation de mousse, la sédimentation, les variations des propriétés électriques du liquide ou la conception du récipient n'affectent pas les valeurs de mesure.



Figure 2.5 : Capteur de pression hydrostatique [12]

2.4.2 Capteur de débit (débitmètre)

Un capteur de débit est un appareil qui mesure le volume d'une substance (liquide ou gaz) circulant dans une conduite ou un canal pendant une période donnée. Il fonctionne selon différents principes, notamment mécaniques, thermiques, électromagnétiques et ultrasoniques.

Il est utilisé pour surveiller les performances des équipements et garantir leur sécurité (en détectant le fonctionnement à sec).

Il est utilisé dans divers domaines, tels que l'industrie, l'énergie et la santé. Il peut être analogique ou numérique et émet un signal de sortie compris entre 4 et 20 mA ou sous forme d'impulsions.[13]



Figure2.6 : Capteur de débit mètre [14]

2.4.3 La pompe

Une pompe est un dispositif mécanique qui déplace des fluides ou des gaz d'un endroit à un autre. Les pompes industrielles convertissent l'énergie mécanique générée par le moteur

en énergie hydraulique pour créer la puissance nécessaire au transfert de liquide ou de gaz. [22]

➤ **Pompe submersible miniature :**

Pompe submersible miniature est une petite pompe qui fonctionne entièrement immergée dans le liquide et qui permet de transférer les liquides directement du réservoir.

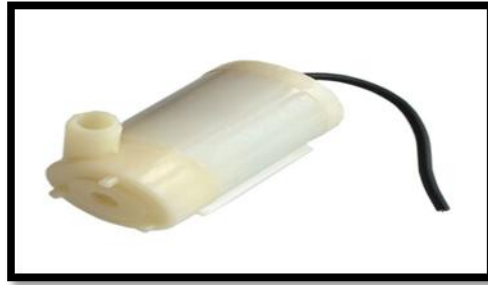


Figure 2.7. : Pompe submersible miniature [15]

Avantage :

- La pompe fonctionne directement, sans nécessiter de processus d'aspiration de fluide initial.
- La pompe entièrement immergée réduit le risque de fuite d'eau.

Inconvénients :

- La pompe est entièrement immergée dans le liquide, ce qui rend son entretien plus difficile.
- Les impuretés ou les sédiments présents dans le liquide peuvent provoquer un blocage.

➤ **Pompe à eau électrique (Pompe à diaphragme / Mini pompe DC)**

Il s'agit d'une petite pompe à eau électrique fonctionnant sur 12 V. Son fonctionnement repose sur le mouvement d'un diaphragme flexible à l'intérieur de la pompe, qui se déplace d'avant en arrière, aspirant le liquide de la source puis le refoulant à travers les tuyaux vers le réservoir.



Figure 2.8. : Pompe à eau électrique (Pompe à diaphragme / Mini pompe DC)

Avantage :

- Haute précision dans le contrôle du débit.
- Cette pompe se caractérise par sa facilité d'utilisation et son entretien simple.

Inconvénients :

- La pompe à une pression et un débit limité, elle ne peut donc pas transporter l'eau sur de longues distances.
- Un entretien régulier est nécessaire pour garantir l'intégrité de la membrane et des composants internes.

2.4.4 Les réservoirs :

Un réservoir d'eau est un récipient, généralement en métal ou en fibres plastiques, servant à stocker l'eau pendant une période déterminée en vue d'une utilisation ultérieure. On trouve également des réservoirs plus petits dans tous les foyers pour se laver et boire.



Figure 2.9: Réservoir de l'eau [16]

2.4.5 Voyant LED 24V

Un voyant 24 volt est un dispositif lumineux conçu pour fonctionner sous 24 volts (CA ou CC). Il est couramment utilisé dans les systèmes électriques industriels pour indiquer l'état marche/arrêt/défaut, dans les armoires électriques, les systèmes automobiles et les systèmes marins. Ce type de voyant se caractérise par sa grande fiabilité, sa faible consommation d'énergie et sa longue durée de vie, notamment lorsqu'il est équipé de LED (diodes électroluminescentes).[17]

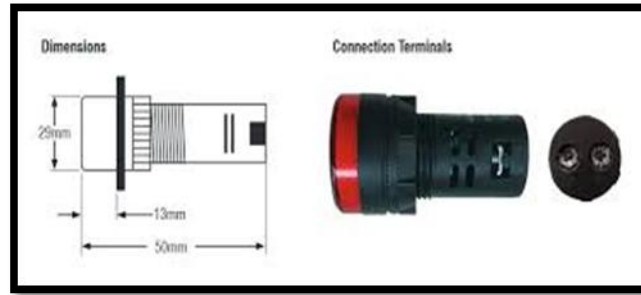


Figure 2.10 : Vovant LED 24 VI181

2.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons introduit la station de pompage. Nous avons détaillé ses composants majeurs et éléments fondamentaux, à l'instar des pompes, réservoirs et capteurs. Au final, saisir la structure et le fonctionnement d'une station de pompage est crucial pour comprendre les chapitres précédents et suivants, surtout ceux qui se concentrent sur l'automatisation, le contrôle et l'optimisation des performances du système.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons le choix du matériel ainsi que l'environnement logiciel utilisés dans le cadre de ce projet. Nous y justifierons la sélection des différents équipements et outils de développement, en mettant en évidence leur adéquation avec les exigences du système. Ce chapitre permettra également de décrire les caractéristiques techniques des composants matériels ainsi que les plateformes logicielles utilisées pour la programmation, la supervision et la mise en œuvre de la solution.

Chapitre 3 : Choix du matériel et de l'environnement logiciel

3.1 Introduction

Ce chapitre présente la clarification et la justification des choix matériels (tels que les capteurs, les actionneurs, etc.) ainsi que des solutions logicielles (système d'exploitation et outils de programmation) nécessaires à la réalisation du projet. Il a pour objectif de sélectionner les ressources les plus adaptées en tenant compte des exigences de performance et des contraintes budgétaires.

➤ **Objectifs du système :**

- Automatiser la commande des pompes ainsi que la gestion des niveaux des réservoirs.
- Assurer la supervision en temps réel de l'état des pompes et des réservoirs via un système SCADA.
- Gérer les alarmes et assurer l'activation automatique d'une pompe de secours en cas de défaillance ou de besoin.
- Offrir un mode de fonctionnement manuel et automatique accessible via l'interface homme-machine (IHM).

➤ **Contraintes techniques :**

- Garantir la fiabilité du système et la continuité de service.
- Assurer une architecture modulaire permettant l'ajout futur de pompes ou de réservoirs.
- Réduire les temps d'arrêt et simplifier les opérations de maintenance.

➤ **Exigences de sécurité :**

- Éviter le fonctionnement à vide des pompes.
- Prévenir le débordement des réservoirs.
- Assurer la détection automatique des défaillances et le déclenchement des alarmes associées.

3.2 Identification des entrées / sorties

L'identification des entrées et sorties est une étape cruciale dans la conception de tout système automatisé. Le tableau suivant présente les différentes entrées et sorties de la station de pompage.

Type	Désignation	Description
Entrée	Capteur niveau bas réservoir 1	Détection niveau bas du réservoir 1
Entrée	Capteur niveau haut réservoir 1	Détection niveau haut du réservoir 1
Entrée	Capteur niveau bas réservoir 2	Détection niveau bas du réservoir 2
Entrée	Capteur niveau haut réservoir 2	Détection niveau haut du réservoir 2
Entrée	Capteur niveau moyen	Détection niveau moyen du réservoir 2
Sortie	Pompe 1	Commande marche/arrêt de la pompe 1
Sortie	Pompe 2	Commande marche/arrêt de la pompe 2
Sortie	Pompe 3	Commande marche/arrêt de la pompe 3
Sortie	Pompe 4	Commande marche/arrêt de la pompe 4

Tableau 1 : Entrées et Sorties

3.3 Choix de l'automate programmable

Le contrôleur S7-1200 offre la flexibilité et les capacités nécessaires pour piloter une grande variété d'appareils et répondre à vos besoins d'automatisation. Sa conception compacte, sa configuration adaptable et son ensemble de commandes étendu en font la solution idéale pour la gestion d'applications diverses.

Le processeur, parmi d'autres composants, intègre les éléments suivants dans un seul boîtier pour assurer un contrôle robuste :

- Processeur
- Alimentation intégrée
- Circuits d'entrée/sortie
- Protocole PROFINET intégré
- Ports d'E/S de contrôle de mouvement rapide.

Le processeur évalue les entrées et modifie-les sorties en fonction de la logique du programme utilisateur, qui peut inclure des instructions logiques, des instructions de comptage, des instructions de temporisation, des instructions mathématiques complexes, des instructions de contrôle de mouvement et des commandes d'interaction avec d'autres appareils intelligents.

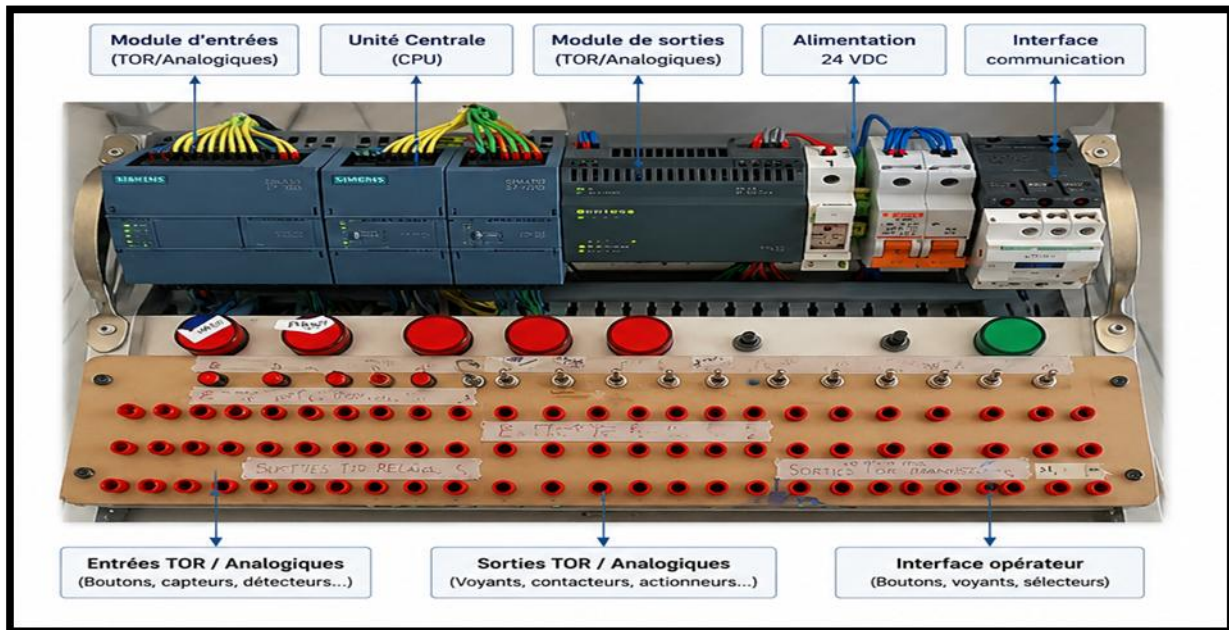


Figure3.1: Kit automate programmable s7-1200

3.4.1 Principales caractéristiques techniques (Série S7-1200)

La gamme S7-1200 comprend plusieurs catégories de processeurs, notamment les modèles, 1214C, 1215C

Extension : Prise en charge de jusqu'à 8 modules d'entrée/sortie (pour les versions 1214C et supérieures) ainsi que 3 modules de communication (sur le côté gauche).

Communication : Interface PROFINET intégrée, basée sur Ethernet.

Programmation : TIA Portal (STEP 7 Basic).

Alimentation : Fréquemment en 24V DC, toutefois disponible en versions AC/DC/Relais.

3.4.2 TIA Portal

Le TIA Portal est un environnement d'ingénierie intégré développé par Siemens, permettant la conception, la programmation, la configuration, la mise en service et la supervision des systèmes d'automatisation industrielle à partir d'une interface unique. Il facilite l'intégration des automates, des interfaces homme-machine, des variateurs et des réseaux industriels, tout en réduisant les temps de développement et de maintenance.

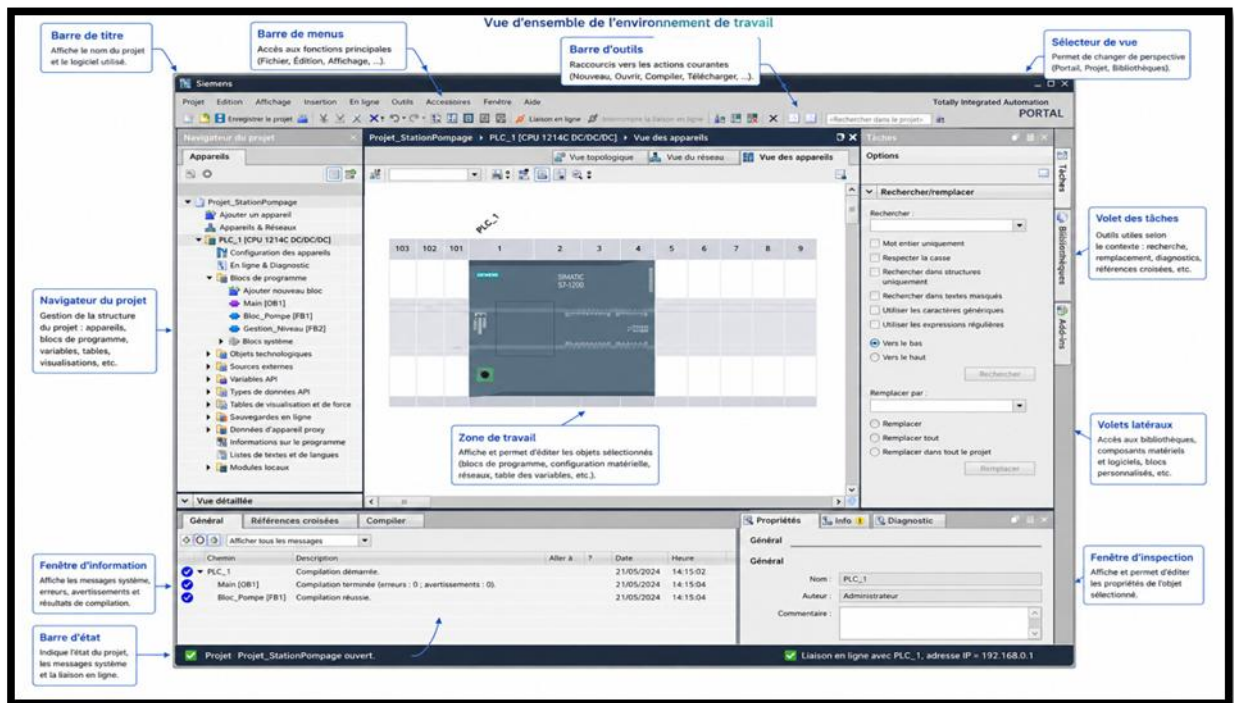


Figure 3.2 : Interface principale du logiciel Siemens TIA

3.4.3 WinCC (SCADA)

La supervision de la station de pompage est réalisée à l'aide du logiciel WinCC, intégré à l'environnement TIA Portal. Cette solution offre une visualisation en temps réel de l'état du procédé, permettant à l'opérateur de suivre l'évolution des différents paramètres de fonctionnement. Elle assure également le contrôle des pompes à travers l'interface homme-machine (IHM), la gestion des alarmes et l'enregistrement des historiques d'événements. En outre, WinCC permet une surveillance permanente des niveaux des réservoirs ainsi que du débit, garantissant ainsi une exploitation fiable et sécurisée de l'installation.

3.4.4 Langage de programmation

La programmation de l'automate programmable industriel a été réalisée à l'aide du logiciel TIA Portal en utilisant le langage Ladder Diagram. Ce langage graphique, inspiré des schémas à relais électromécaniques, est largement utilisé dans le domaine industriel en raison de sa simplicité de compréhension et de sa facilité de maintenance.

Le langage LAD permet de représenter les fonctions logiques sous forme de contacts, de bobines, de temporisateurs, de compteurs et de blocs fonctionnels. Il est particulièrement adapté aux applications de commande séquentielle et aux systèmes automatisés impliquant des capteurs, des actionneurs et des opérations de contrôle.

Dans ce projet, le langage Ladder a été utilisé pour développer l'ensemble des fonctions de commande et de supervision de la station, notamment la gestion des pompes, le contrôle des niveaux des réservoirs, le traitement des alarmes et la communication avec l'interface homme-machine (IHM). Son utilisation a permis d'obtenir un programme clair, modulaire et facilement exploitable lors des phases de mise en service et de maintenance.

3.4 Sélection des capteurs :

Pour notre projet, nous avons choisi un capteur flotteur, qui nous a été très utile et qui comprend de nombreuses fonctionnalités, notamment :

1. Simplicité et fiabilité : Les capteurs à flotteur sont réputés pour leur conception simple et leur fonctionnement, ce qui garantit une grande fiabilité grâce à un nombre restreint de pièces mobiles
2. Installation et entretien simplifiés : Ils se posent habituellement sans difficulté et n'ont pas besoin d'un étalonnage compliqué. Également, grâce à leur conception solide, la maintenance est réduite au minimum.
3. Rentabilité : Ces dispositifs de mesure de niveau sont généralement plus économiques que les technologies de détection de niveau plus avancées.
4. Polyvalence : Les capteurs à flotteur sont compatibles avec une vaste gamme de liquides et existent en divers matériaux pour s'adapter à différentes compositions chimiques.
5. Flexibilité : Ils peuvent être élaborés pour opérer sous des conditions de haute température et de haute pression.
6. Sécurité : Ils peuvent être élaborés pour opérer dans des milieux à risque et obtenir des certifications comme ATEX pour les zones explosives (par exemple, SOBA EX, SOBA EX P d'ATMI). [19]

3.5.1 Caractéristiques des dispositifs de pompage

- Nous avons choisi ce type de pompe électrique (pompe à membrane/mini-pompe DC) pour notre projet car elle était facilement disponible à l'université, parfaitement adaptée à l'application et simple à installer et à utiliser. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

Tension : Fonctionne généralement sous basse tension continue (3-6 V, 12 V ou 24 V).

Fonctionnement : Pompe à membrane auto-amorçant.

Débit et pression : Débit faible à moyen, généralement entre 0,5 L/min et 2 L/min. Ces pompes offrent une hauteur d'aspiration verticale jusqu'à 2 mètres.

Dimensions : Conception compacte facilitant son intégration dans les espaces restreints.

Matériaux : La pompe est fabriquée à partir de matériaux de qualité alimentaire (PPS, EPDM) adaptés au transport d'eau potable.

Niveau sonore : Fonctionnement silencieux ; le niveau sonore global est inférieur à 40 dB.

Sécurité : Ne pas utiliser la pompe pour exposer ou mettre en contact avec des liquides corrosifs.

- Parmi les critères de choix de la pompe adaptée, nous nous appuyons sur deux facteurs : le débit (débit). La hauteur manométrique totale est HMT

1) Débit Q : il représente la quantité de fluide refoulée par la pompe pendant une période donnée. Le débit est généralement mesuré en gallons par minute (GPM) ou en mètres cubes par heure (m^3).

2) HMT : On exprime la hauteur manométrique totale (HMT) en mètres. Pour faciliter la conversion, sachez que 10 mètres de HMT correspondent à 1 bar. Pour déterminer la HMT, il faut d'abord établir : la pression de refoulement nécessaire, la différence de hauteur manométrique entre le niveau d'eau et la pompe, la différence de hauteur manométrique entre la pompe et l'endroit le plus élevé où elle est utilisée, ainsi que la longueur du tuyau qui relie la pompe au robinet le plus éloigné.

3.5.2 Actionneurs

Les actionneurs constituent les éléments de puissance du système, responsables de l'exécution des ordres de commande issus de l'automate programmable. Ils permettent d'assurer le transfert et la circulation du fluide entre les différents réservoirs de la station de pompage.

Les principaux actionneurs utilisés dans ce système sont les suivants :

- **Pompes 1 et 2** : assurent l'alimentation et le transfert initial du fluide dans le système, en fonction de la logique de commande définie par l'automate.
- **Pompes 3 et 4** : assurent le transfert du fluide entre le réservoir 2 et le réservoir 3, avec un fonctionnement en alternance afin d'équilibrer leur utilisation et de garantir la continuité du service.

3.5.3 Les éléments de commande et de signalisation

Des boutons poussoirs utilisés pour le démarrage, l'arrêt, l'arrêt d'urgence. Ces éléments offrent à l'opérateur la possibilité de gérer le système en toute sûreté tout en vérifiant son état opérationnel.

3.6 Conclusion

Ce chapitre a fourni l'opportunité d'exposer et d'expliquer le choix du matériel et de l'environnement logiciel mis en œuvre dans la conception du système d'automatisation de la station de pompage. L'option de l'automate programmable industriel (API), en particulier la série Siemens SIMATIC S7-1200, a été déterminée sur la base de ses performances, sa fiabilité et son adéquation avec les besoins du système.

En outre, divers dispositifs complémentaires comme les capteurs, les actionneurs et les systèmes de sécurité ont été choisis pour garantir une performance optimale et sûre de l'équipement.

En ce qui concerne le logiciel, nous avons choisi l'environnement de développement Siemens TIA Portal en raison de sa facilité d'utilisation et de son intégration exhaustive des outils pour la programmation, la configuration et la supervision.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical bar on the left and horizontal bars at the top and bottom, all featuring scroll-like ends.

Chapitre 4 : Conception et mise en œuvre de la station de pompage et de l'interface IHM

4.1 Introduction

Ce chapitre décrit les étapes essentielles de la création d'un modèle d'apprentissage personnalisé pour l'automatisation des processus industriels. Il aborde notamment la conception, l'assemblage et la configuration des composants et logiciels nécessaires au contrôle et à la surveillance d'un système de distribution de liquides.

Le système est piloté par un automate programmable Siemens S7-1200 et supervisé par la plateforme WinCC intégrée à TIA Portal V13. Ce système permet la surveillance en temps réel de l'état des équipements. Le chapitre présente également une vue d'ensemble du système, ses exigences fonctionnelles, le câblage électrique, la programmation de la logique de contrôle selon une séquence de fonctionnement spécifique, ainsi que la conception de l'interface utilisateur graphique pour la surveillance et le contrôle.

Un système d'alarme est également intégré à l'interface de surveillance pour la détection et la réparation précoces des pannes, contribuant ainsi à une sécurité accrue et à des temps de réponse plus rapides en cas de dysfonctionnement.

4.2 Schéma général de réalisation de la maquette pédagogique

Le schéma ci-dessous (figure 4-1) illustre les principales étapes de réalisation du modèle pédagogique. Nous commençons par la préparation de la maquette et la mise en place d'une base de travail appropriée, puis la préparation des différents composants, puis l'élaboration du schéma de câblage électrique afin de déterminer la manière de relier les composants électriques. Ensuite, tous les composants sont installés sur la maquette. Puis les connexions électriques et hydrauliques sont réalisées. Par la suite, la logique de commande est conçue à partir du GRAFCET, puis transformée en programme dans l'automate programmable (PLC) à l'aide du langage LADDER (LD). Ensuite, nous effectuons la simulation afin de vérifier le bon fonctionnement du programme. Puis nous concevons l'interface utilisateur pour le contrôle et la supervision. Enfin, le système est testé et validé afin d'obtenir les résultats finaux.

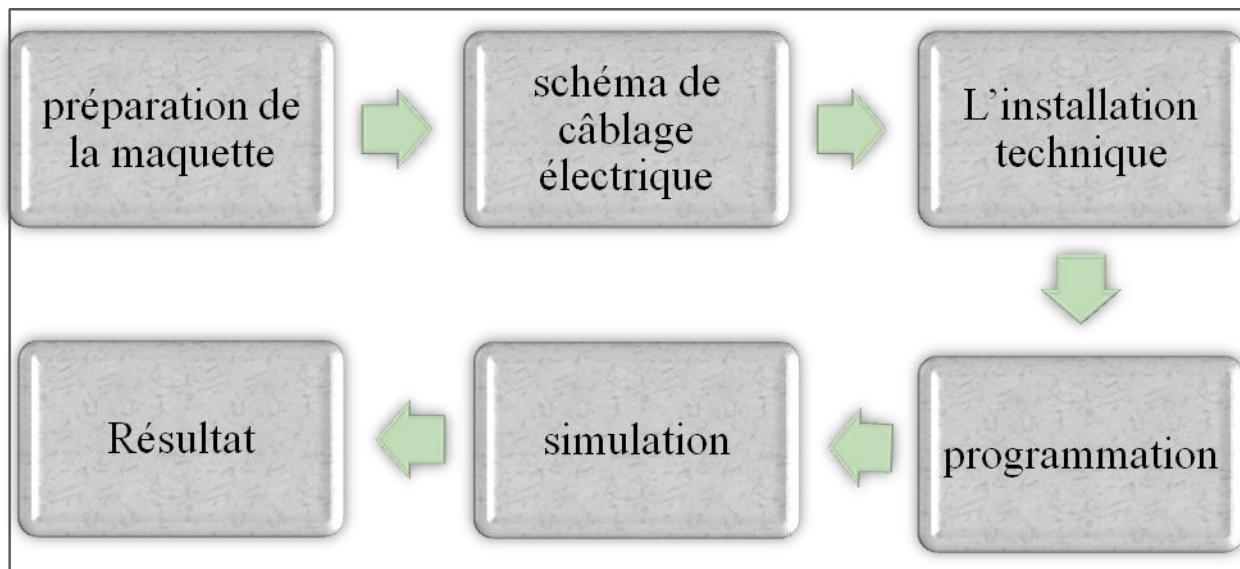


Figure 4.1 : Étapes de conception et d'implémentation d'un système SCADA

4.3 Préparation de la maquette :

La figure suivante illustre les différentes étapes de préparation de la maquette :



Figure 4.2 : Préparation de la maquette

4.4 Schéma électrique

Ce schéma électrique présente le câblage de la maquette de station de pompage automatisée.

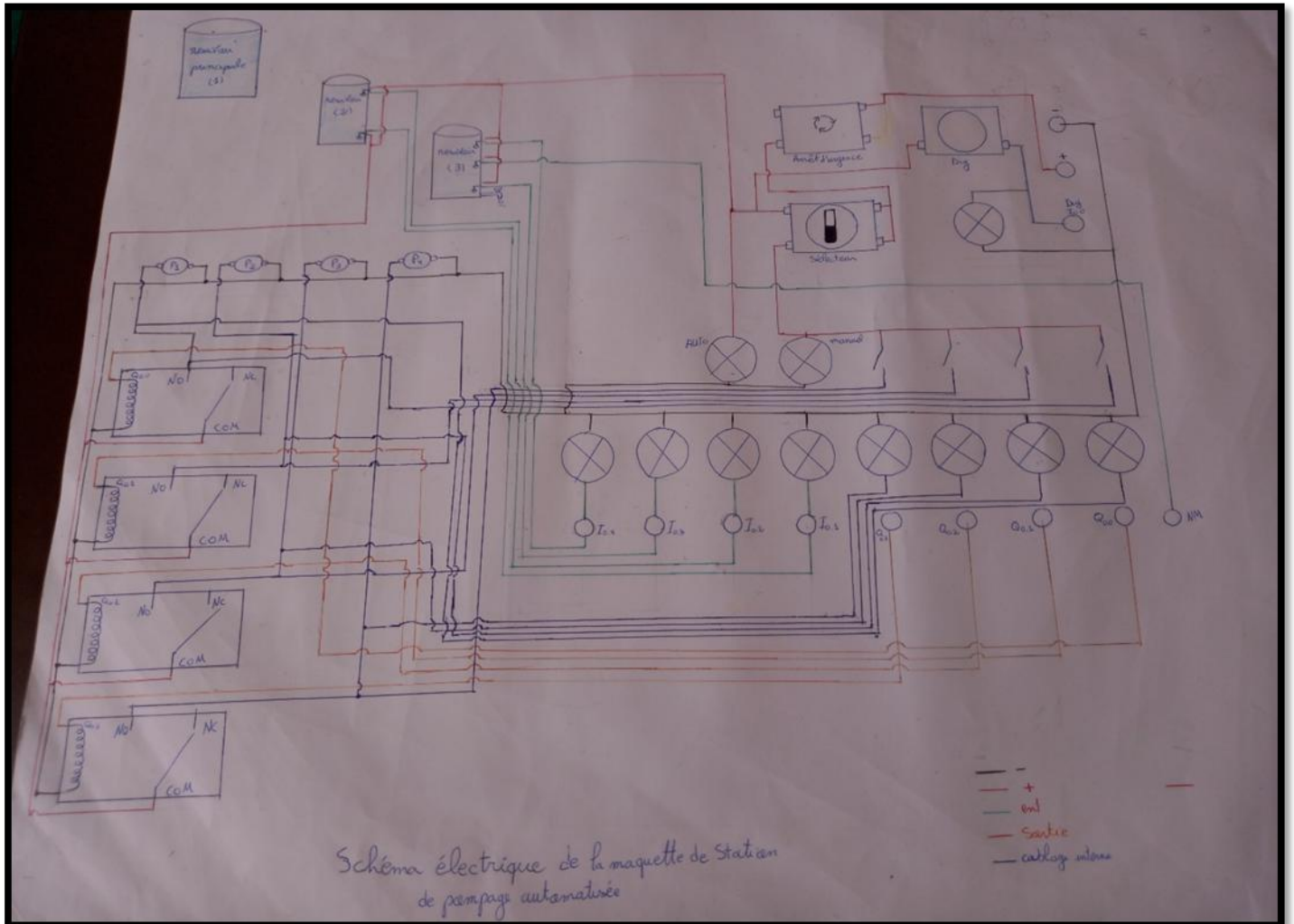


Figure 4.3 : Schéma électrique

4.5 L'installation technique

❖ Première étape : préparation des réservoirs

Lors de la préparation du réservoir, nous avons veillé à son étanchéité afin de protéger les composants électroniques. Des entretoises ont été utilisées à la base du réservoir pour assurer une isolation complète. Un système de double étanchéité par joints toriques a également été mis en place pour garantir la sécurité des dispositifs. Nous avons ensuite téléchargé un gabarit de support de capteur depuis la plateforme Thingiverse, l'avons

modifié avec le logiciel AnyCubic Slicer pour l'adapter aux dimensions du réservoir, puis l'avons imprimé en 3D (voir figure 4.4).

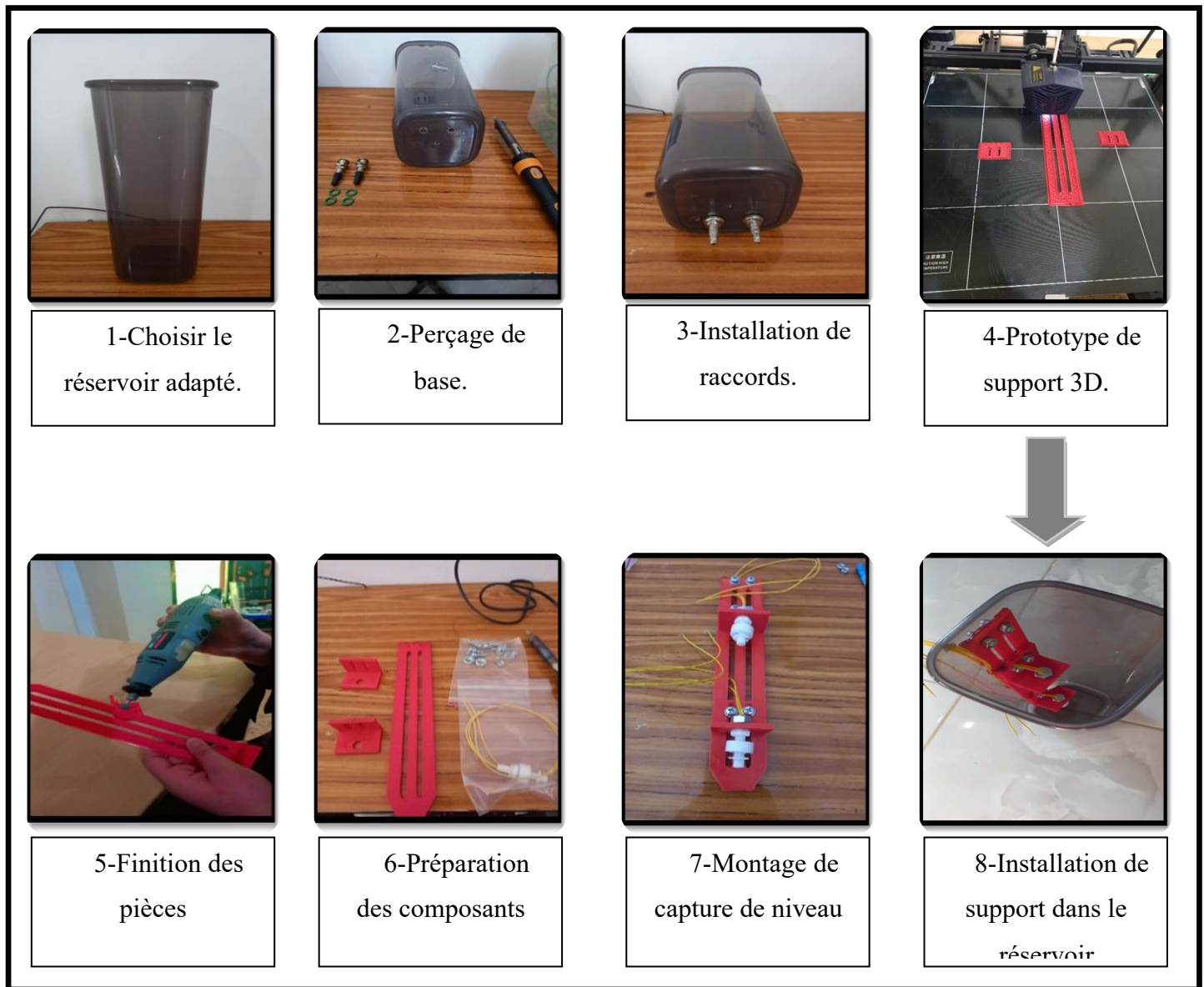


Figure 4.4 : Préparation des réservoirs

❖ **Deuxième étape : installez tous les composants sur la maquette**

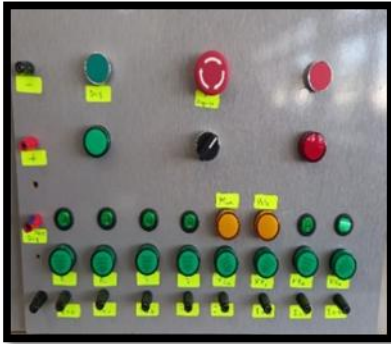
1) Installation des réservoirs :



Détail :

- fixation des réservoirs sur le panneau en bois à l'aide des attaches.
- positionnement en respectant les hauteurs et l'accessibilité.

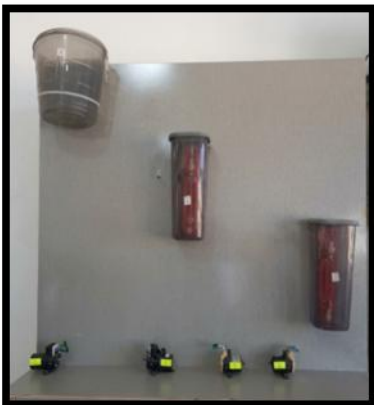
2) Installation des composants sur le panneau :



Détail :

- Perçage des trous et installation des composants de commande et de signalisation.
- Composants installés :
 - Boutons de commande (marche/arrêt de pompes)
 - Interrupteurs de contrôle (sélection manuel /auto)
 - Bouton d'urgence (poussoir coup de poing)

3) Fixation des pompes sur maquette



Détail :

Fixation des pompes sur le socle de la maquette à l'aide de vis.

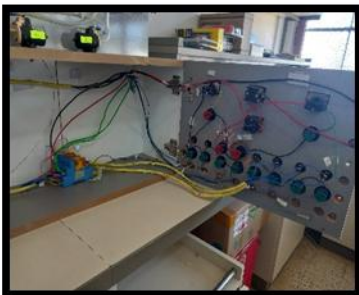
Raccordement hydraulique :

- Aspiration des pompes depuis le réservoir bas.
- Refoulement vers le réservoir suivant.

Raccordement électrique des pompes vers les sorties de l'API via les contacteurs.

❖ Troisième étape : câblage.

1) Raccordez les câbles entre les pompes, les capteurs et le panneau de commande :



- Nous avons connecté les câbles d'alimentation et de commande des pompes au panneau de commande.
- Nous avons également connecté les câbles des capteurs de niveau et de débit.
- Utilisez des borniers pour garantir des connexions sûres et bien organisées.

2) Vérification de la continuité des circuits électriques à l'aide d'un multimètre :



- Utiliser un multimètre en mode continuité pour vérifier chaque circuit.
- S'assurer qu'il n'y a pas de court-circuit entre les fils.
- Vérifier la bonne connexion de chaque borne.

3) Un système de tuyauterie a été installé entre les réservoirs et les pompes afin d'assurer un débit d'eau continu :



- Raccordement des réservoirs entre eux à l'aide des tuyaux PVC.
- Connexion des tuyaux aux pompes d'aspiration et de refoulement.
- Vérification de l'étanchéité et du bon écoulement de l'eau.

4.6 Description du cahier de charge

Le cahier des charges de ce travail consiste en la conception et la réalisation d'une maquette didactique de gestion automatisée des niveaux d'eau, composée de trois réservoirs interconnectés et de quatre pompes assurant les opérations de remplissage et de transfert d'eau.

Le premier réservoir constitue la source principale d'alimentation du système. Les deuxième et troisième réservoir sont équipés de capteurs à flotteur destinés à la détection des niveaux d'eau. Le réservoir 2 comporte deux seuils de détection : nb1 (niveau bas) et nh1 (niveau haut). Le réservoir 3 dispose quant à lui de trois seuils : nb2 (niveau bas), nm (niveau moyen) et nh2 (niveau haut).

Le remplissage du réservoir 2 est assuré à partir du réservoir 1 par deux pompes. La pompe P2 fonctionne comme pompe principale, tandis que la pompe P1 assure la redondance du système en intervenant uniquement en cas de défaillance de la pompe principale.

Le transfert d'eau du réservoir 2 vers le réservoir 3 est assuré par les pompes P3 et P4, qui doivent fonctionner en alternance. Une temporisation est imposée entre deux activations successives afin de limiter les démarrages répétés, de protéger les pompes contre les

contraintes mécaniques et électriques, et d'éviter un arrêt prolongé susceptible d'entraîner le grippage ou le blocage des éléments mécaniques, notamment au niveau des roulements.

Enfin, l'ensemble des équipements doit être piloté par un automate programmable industriel (PLC), chargé d'assurer la surveillance des niveaux d'eau, la commande automatique des pompes et l'exécution de la séquence de fonctionnement conformément aux spécifications définies.

Tableau 4 : Matériels utilisés

Désignation	Type	Caractéristique	Description
Capteur niveau	TOR	24 volts CC	Détection du niveau du réservoir
Pompe	Pompe centrifuge	24 volts CC	Remplissage des réservoirs en eau
Interrupteur arrêt urgence	TOR		Arrêt immédiat du system en cas d'urgence
Sélecteur			Permutation entre mode manuel et auto
Voyant	Voyant lumineux	24 volts CC	Indication de l'état du système (marche, arrêt, alarme)
Interrupteur de démarrage	TOR		

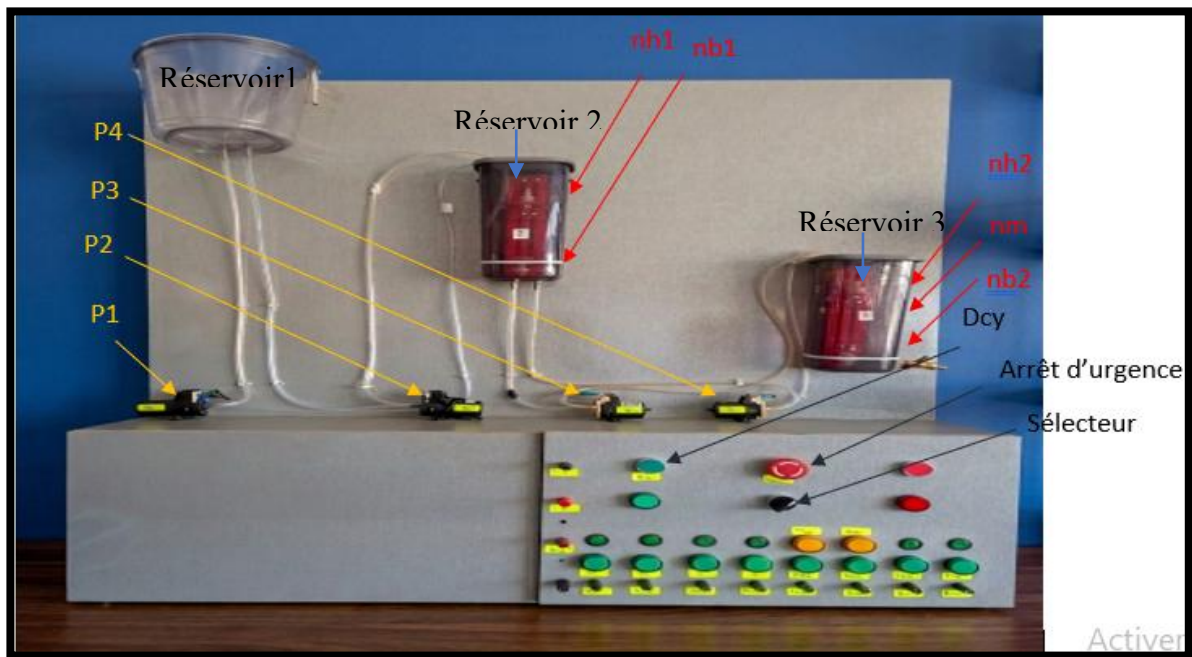


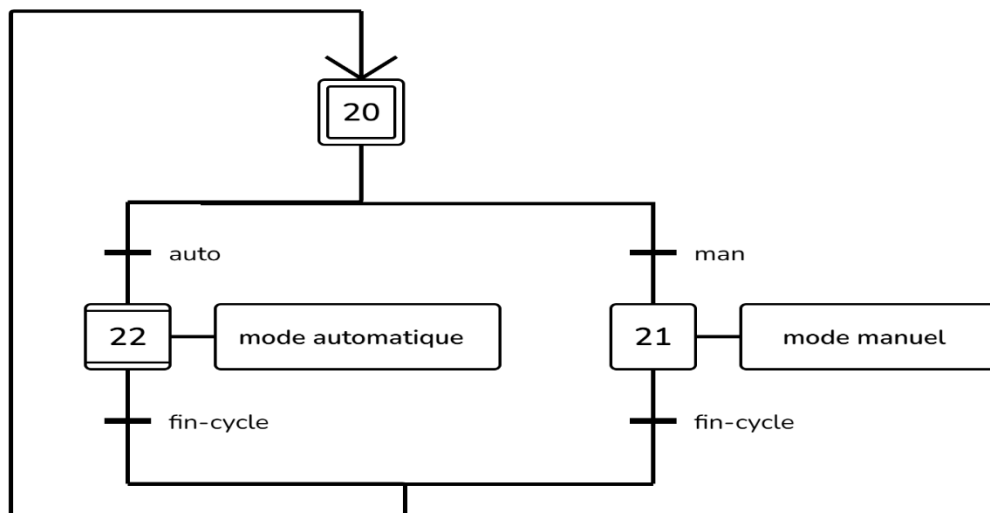
Figure 4.5 : Vue globale de la maquette

4.7 Programmation

Avant de démarrer l'étape de programmation, il est nécessaire de construire un GRAFCET décrivant de manière structurée le fonctionnement du système automatisé. Ce GRAFCET permet de modéliser les différentes étapes du processus ainsi que les transitions entre les états de marche du système. Il constitue une représentation logique de la séquence de commande, facilitant ainsi la traduction du cahier des charges en un programme exécutable sur l'automate programmable (PLC). Cette étape préliminaire est essentielle pour garantir une programmation claire, cohérente et conforme au comportement attendu du système.

4.7.1 GRAFCET de fonctionnement de la maquette

Ce diagramme décrit le processus de routage entre les deux modes de commande du système. Le cycle débute à une étape initiale par exemple 20 en mode veille. Selon le choix de l'opérateur, le chemin se divise en deux possibilités : soit l'activation du mode manuel à l'étape 21 pour la commande directe des actionneurs, soit le passage à l'étape combinée 22 pour activer le système de commande automatisée. Les deux chemins se terminent par une condition de « fin-cycle » qui ferme le cycle et retourne au point de départ.



Créé avec grafcet.io

Figure 4.6 : GRAFCET de début

- **Mode automatique :**

En mode automatique, le système effectue les opérations de remplissage et de vidange de manière automatique, selon une séquence logique déterminée par le graphique (figure 4-7). Lors du démarrage, le système suit une séquence prédéfinie, où chaque étape est activée lorsque les conditions de transition sont remplies, par exemple lorsqu'on atteint le niveau requis ou à la fin d'une durée spécifiée sans intervention humaine.

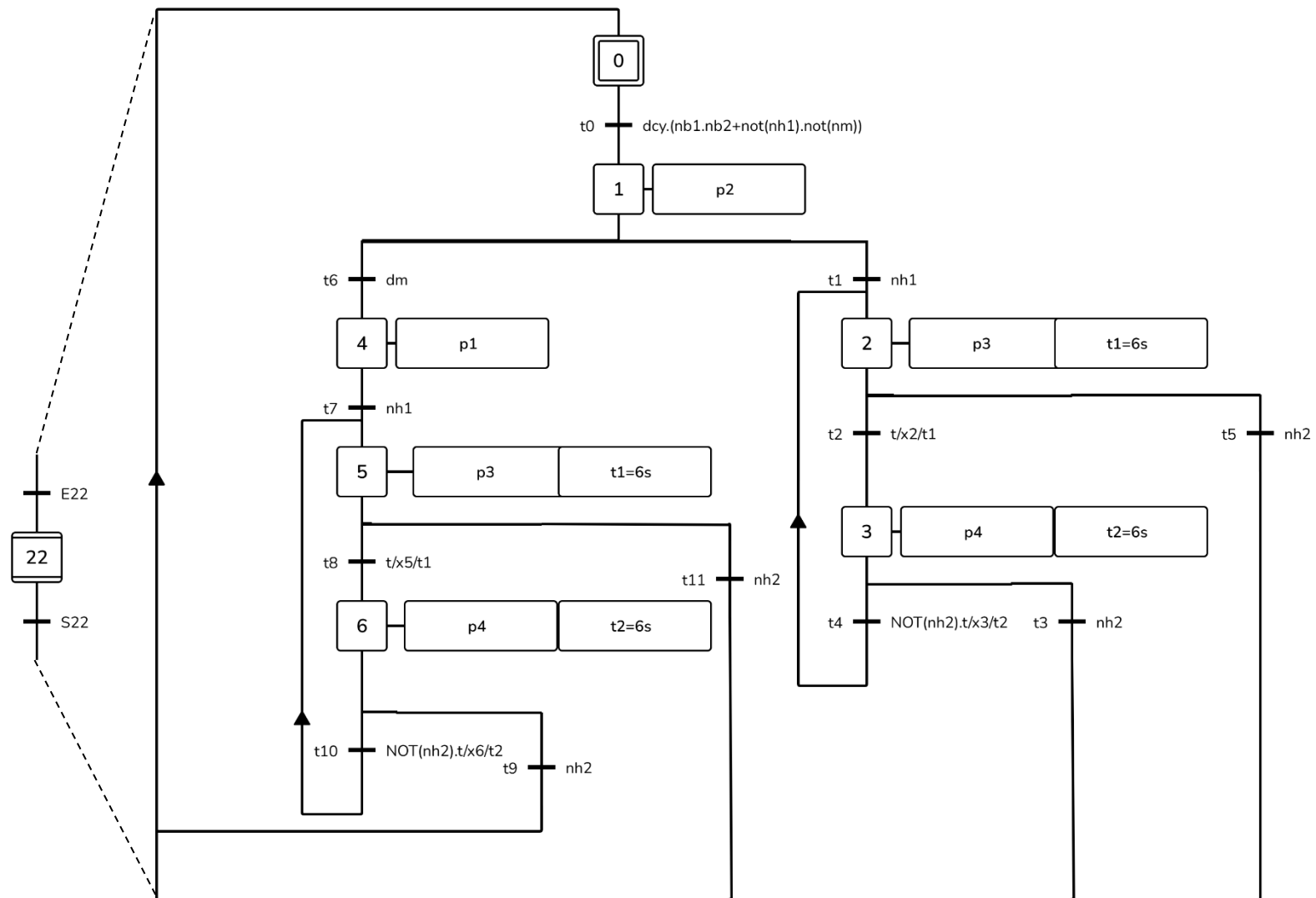


Figure 4.7 : GRAFCET en mode automatique

- **Mode manuel :**

Le mode manuel constitue un mode de secours permettant de maintenir l'exploitation du système lorsque le mode automatique est indisponible ou présente une défaillance.

En mode manuel, l'opérateur commande directement les actionneurs (pompe, électrovannes, mélangeur) à l'aide des interrupteurs marche/arrêt situés sur le panneau de commande.

Le mode manuel permet de choisir librement l'expérience ou la procédure à réaliser en allumant ou en éteignant l'équipement selon les besoins.

4.7.2 Table de variable

Dans ce travail, nous avons utilisé les variables d'entrées et de sorties nécessaires à la phase de programmation. Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des variables utilisées dans ce projet.

Tableau 5 : Table de variable

Nom	Type de données	Adresse	Nom	Type de données	Adresse
Dcy	Bool	%I0.0	X0	Bool	%M1.4
Nb1	Bool	%I0.1	X1	Bool	%M1.5
Nh1	Bool	%I0.2	X2	Bool	%M1.6
Nb2	Bool	%I0.3	X3	Bool	%M1.7
Nh2	Bool	%I0.4	X4	Bool	%M2.0
T0	Bool	%M0.0	X5	Bool	%M2.1
T1	Bool	%M0.1	X6	Bool	%M2.2
T2	Bool	%M0.2	Temp1	Bool	%M2.3
T3	Bool	%M0.3	Temp2	Bool	%M2.4
T4	Bool	%M0.4	Temp3	Bool	%M2.5
T5	Bool	%M0.5	P1	Bool	%Q0.0
T6	Bool	%M0.6	P2	Bool	%Q0.1
T7	Bool	%M0.7	P3	Bool	%Q0.2
T8	Bool	%M1.0	P4	Bool	%Q0.3
T9	Bool	%M1.1	Alarme panne	Bool	%Q0.4
T10	Bool	%M1.2	Reset_alarme	Bool	%I0.6
T11	Bool	%M1.3	Dcy_ihm	Bool	%M3.0
T12	Bool	%M2.6	Alarme _mem	Bool	%M3.1
T13	Bool	%M2.7	X7	Bool	%M3.4
T14	Bool	%M3.2	X8	Bool	%M3.5
T15	Bool	%M3.3	AU_DUR	Bool	%I8.0
T16	Bool	%M3.6	AU_DUR_IHM	Bool	%M55.3
Dm	Bool	%I0.5	Nm	Bool	%I0.7

4.7.3 Programmation du système en langage Ladder (LD)

Nous avons traduit le diagramme GRAFCET en langage LD à l'aide du programme TIA Portal afin de contrôler le système automatiquement, après avoir mené plusieurs expériences et tests sur le modèle pour vérifier la réponse des capteurs et des pompes selon les conditions requises, et finalement nous avons confirmé le bon fonctionnement du programme de manière séquentielle et organisée.

4.8 Mise en œuvre de la supervision IHM via WinCC (TIA Portal)

La supervision constitue une étape fondamentale dans la mise en place d'un système automatisé, car elle permet de visualiser, contrôler et surveiller en temps réel le fonctionnement du procédé industriel. Elle offre à l'opérateur une interface intuitive facilitant l'interaction avec l'automate programmable et l'ensemble du système.

Dans ce travail, la supervision est réalisée à l'aide de l'environnement TIAPortal, en exploitant WinCC pour la conception de l'interface homme-machine (IHM) (voir figure 4.8). Cette étape permet de développer des écrans de contrôle et de visualisation des différentes variables du système, ainsi que de tester le bon fonctionnement de la commande automatique.

Grâce à cette mise en œuvre, il est possible d'assurer une interaction efficace entre l'utilisateur et le système automatisé, tout en garantissant une surveillance fiable des états de marche et des alarmes éventuelles.

La figure 4.8 illustre un exemple de notre écran IHM conçue pour ce travail :

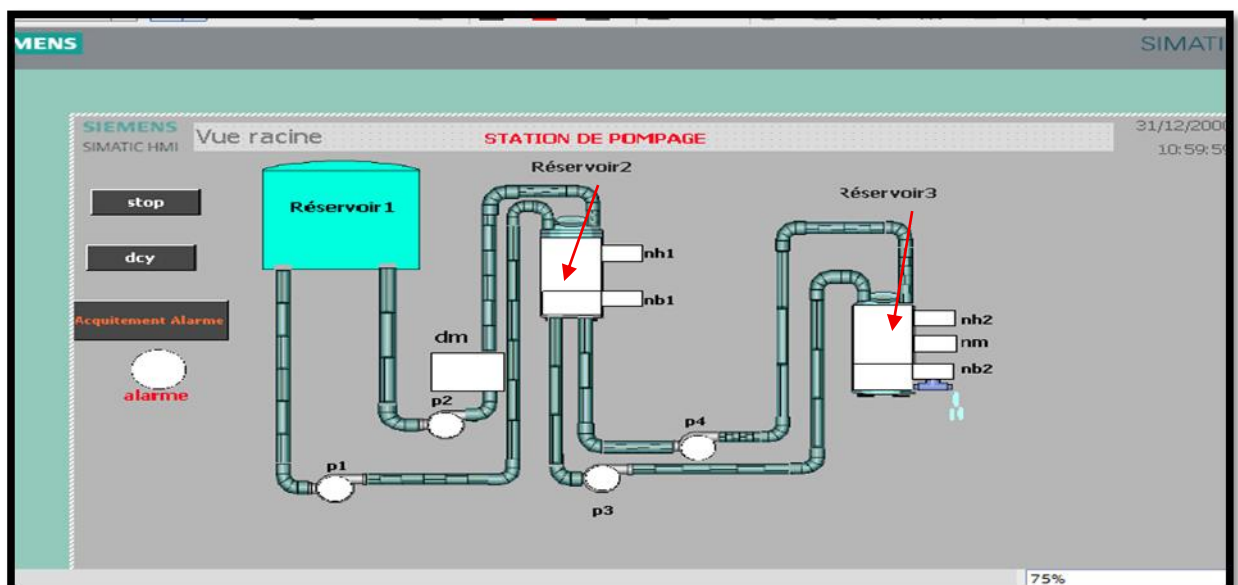


Figure 4.8 : L'écran IHM conçu pour ce travail

4.9 Présentation des Résultat :

Cette section présente et analyse les résultats obtenus au cours de la programmation de l'automate ainsi que l'état de marche du système avec supervision. Elle permet de mettre en évidence le comportement du système développé, ainsi que de vérifier la conformité de son fonctionnement avec les objectifs fixés dans la phase de conception. L'accent est mis sur la validation des différents scénarios de fonctionnement, l'exécution des programmes programmés dans l'automate, ainsi que l'évaluation de la cohérence entre la partie théorique et les résultats expérimentaux observés.

4.10.1 Étapes de fonctionnement du système en mode supervisé automatique

Étape initiale du système :

- Le réservoir 1 est plein, tandis que les réservoirs 2 et 3 sont vides.
- Les capteurs NB1 et NB2 sont actifs, tandis que les capteurs NH1 et NH2 sont inactifs (réservoirs 2 et 3 sont en niveaux bas).

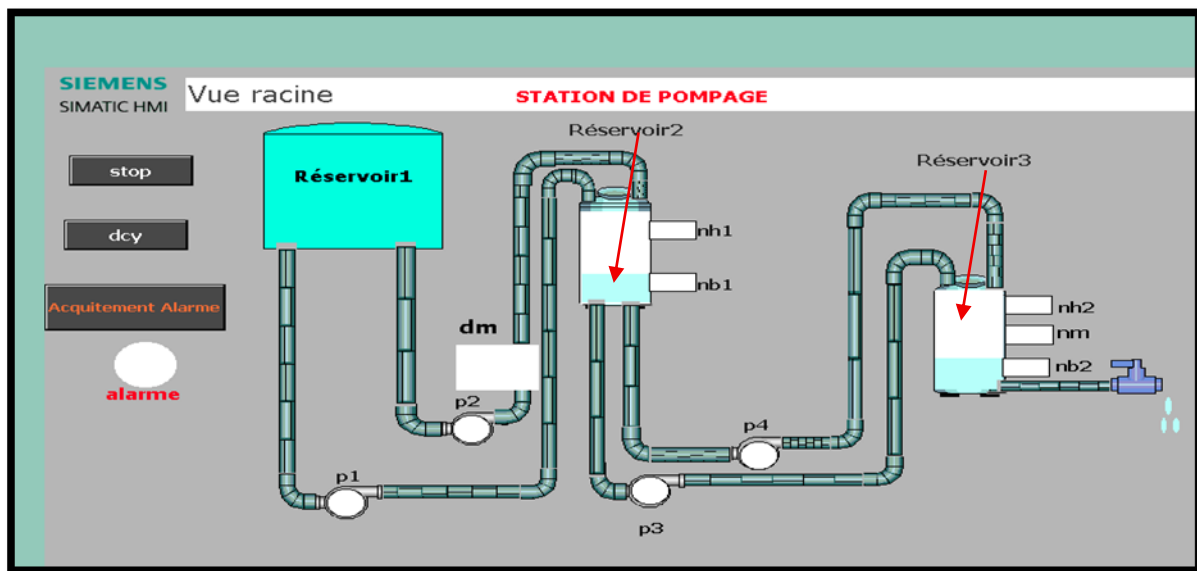


Figure 4.9 : Interface IHM à l'état initial

Deuxième étape : remplissage du réservoir 2

Dans ce cas, le réservoir 1 est considéré comme une source d'alimentation toujours disponible et maintenue en état de remplissage permanent.

- La pompe P2 est mise en marche afin d'assurer le transfert du liquide du réservoir 1 vers le réservoir 2.
- Les capteurs NB1 et NH1 assurent le suivi du niveau de liquide dans le réservoir 2.
- Le remplissage est maintenu tant que le capteur NH1 n'est pas activé (niveau haut n'est pas atteint).
- Lorsque le capteur NH1 indique que le niveau maximal est atteint, la pompe P2 s'arrête automatiquement (voir figure 4.10).

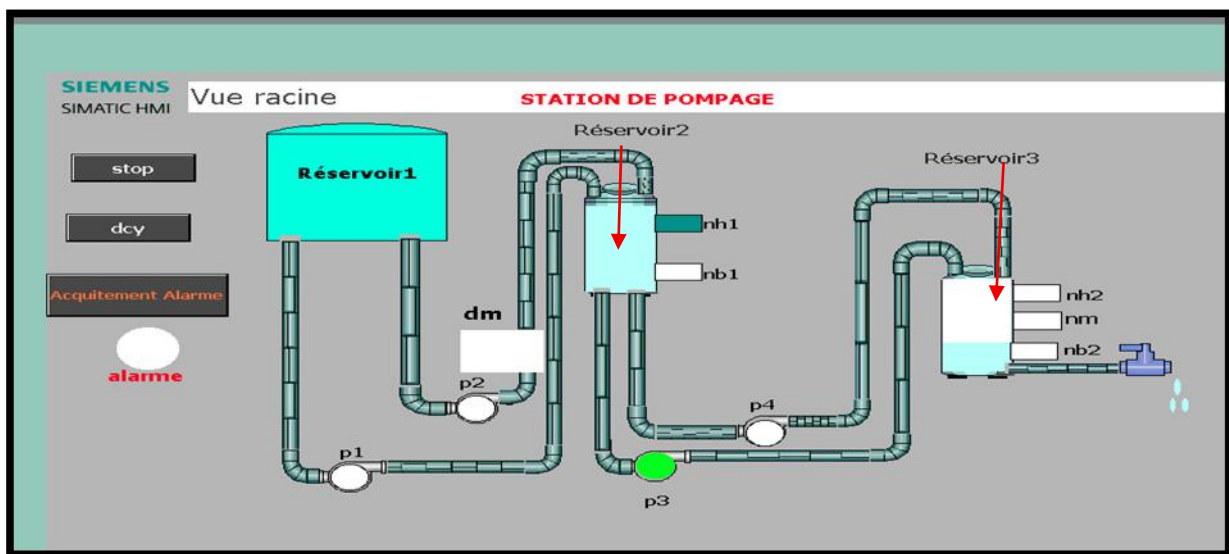


Figure 4.10 : Remplissage du resavoir2

Troisième étape : Remplissage du réservoir 3

- Le transfert du liquide du réservoir 2 vers le réservoir 3 est assuré par les pompes P3 et P4, qui fonctionnent en alternance afin de répartir équitablement leur temps d'utilisation. Dans le cadre de cette étude, l'alternance est réalisée sur la base d'un intervalle de temps prédéfini.
- Les capteurs NB2 et NH2 permettent de surveiller en continu le niveau du liquide dans le réservoir 3.
- Les deux pompes restent actives de manière alternée tant que le capteur NH2 n'est pas déclenché.

- Dès que NH2 signale que le réservoir a atteint son niveau maximal, les pompes P3 et P4 s'arrêtent automatiquement.

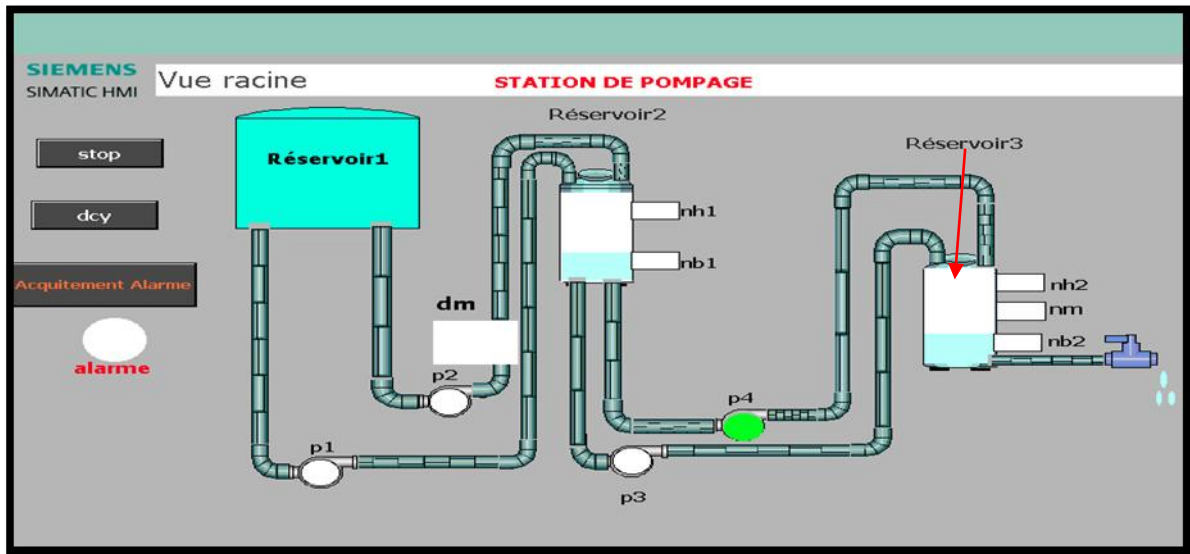


Figure 4.11 : Remplissage du réservoir 3

4.10 Configuration des alarmes dans l'interface utilisateur graphique

Dans ce travail, afin d'illustrer l'utilisation des alarmes, une alarme concrète a été mise en place à titre d'exemple pour assurer la surveillance de la pompe P2. Ce dispositif d'alarme permet de superviser en temps réel le bon fonctionnement de la pompe et de détecter toute anomalie éventuelle, telle qu'un dysfonctionnement, une surcharge ou un arrêt inattendu.

Dans ce cas d'étude, l'alarme associée à la pompe P2 est intégrée dans l'interface de supervision afin d'informer l'opérateur dès qu'un comportement anormal est détecté. Ainsi, le système améliore la sécurité de fonctionnement et permet une intervention rapide en cas de problème, garantissant la continuité du processus automatisé.

Le dispositif d'alarme associé à la pompe P2 a été programmé dans le logiciel TIA Portal V13. Ce dispositif émet un signal visuel rouge en cas de détection d'un défaut.

Dans le cas pratique, un débitmètre est utilisé pour surveiller l'état de fonctionnement de la pompe. Ce capteur permet de mesurer en continu le débit du fluide. Si la valeur mesurée descend en dessous d'un seuil prédéfini, cela indique une anomalie de fonctionnement de la pompe. Dans ce cas, une alarme est automatiquement déclenchée afin d'alerter l'opérateur et permettre une intervention rapide.

Dans ce travail, l'absence d'un capteur réel permettant de détecter les défauts de la pompe (tel qu'un débitmètre ou tout autre dispositif de mesure) a conduit à simuler son

fonctionnement à l'aide d'un interrupteur. Ce dernier permet de reproduire les variations de débit susceptibles de déclencher une alarme. Cette approche offre la possibilité de tester et de valider le comportement du système de supervision dans des conditions représentatives du fonctionnement réel, tout en assurant une mise en œuvre pratique du projet.

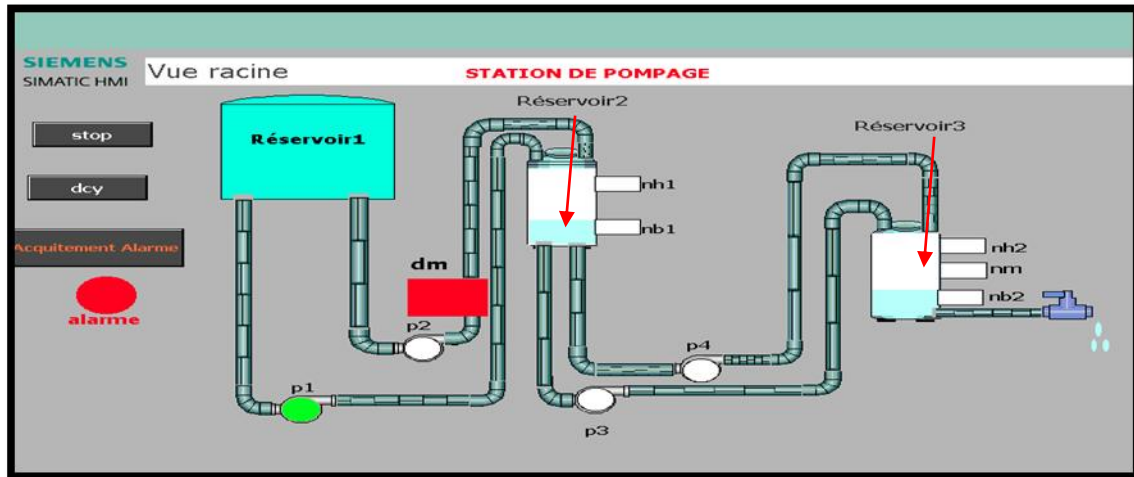


Figure 4.12 : Création d'alarmes P2 dans l'interface utilisateur

4.11 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté les différentes étapes de la mise en œuvre du système d'automatisation industrielle de la station de pompage, depuis la conception de la maquette et le raccordement des différents composants jusqu'à la programmation de l'automate programmable (PLC) selon une séquence logique.

Une interface IHM pour la supervision et le contrôle a également été conçue à l'aide du logiciel WinCC, permettant une surveillance efficace et en temps réel de l'état du système et le contrôle de divers processus. De plus, un système d'alarme a été intégré pour faciliter la détection des pannes et les alertes rapides, simplifiant ainsi les opérations de maintenance et améliorant la fiabilité et la sécurité du système.

Les tests réalisés ont démontré le succès du système et l'atteinte des objectifs fixés, permettant l'application des connaissances théoriques en automatisation et supervision industrielles à l'aide d'outils et de logiciels professionnels tels que TIA Portal et WinCC

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons pu concevoir et mettre en œuvre un système de contrôle et de supervision d'une station de pompage basé sur un automate programmable Siemens S7-1200 et une interface SCADA développée sous TIA Portal WinCC. Cette réalisation nous a permis d'appliquer concrètement les connaissances acquises dans le domaine de l'automatisation industrielle, de la supervision des procédés et des réseaux de communication industriels.

L'étude menée a montré l'importance des systèmes SCADA dans l'amélioration de la gestion des installations industrielles. Grâce à la surveillance en temps réel, à la visualisation des états de fonctionnement, à la gestion des alarmes et à l'enregistrement des données, le système développé contribue à renforcer la fiabilité, la sécurité et l'efficacité de la station de pompage.

La conception de la maquette pédagogique a permis de valider les différentes étapes du projet, depuis l'analyse fonctionnelle jusqu'à la programmation de l'automate et la réalisation de l'interface homme-machine. Les essais effectués ont confirmé le bon fonctionnement du système aussi bien en mode automatique qu'en mode manuel, ainsi que la capacité du SCADA à assurer le suivi des niveaux, le contrôle des pompes et la gestion des situations de défaut.

Au-delà des résultats obtenus, ce projet constitue une base intéressante pour des développements futurs. Parmi les perspectives envisageables figurent l'intégration de capteurs intelligents, la communication à distance via Internet industriel (IoT), l'utilisation de variateurs de vitesse pour optimiser la consommation énergétique des pompes, ainsi que la mise en place de fonctions avancées d'analyse et de maintenance prédictive.

En conclusion, ce travail a démontré qu'une solution basée sur un API Siemens S7-1200 et un système SCADA constitue une approche performante et fiable pour la supervision et le contrôle automatisé d'une station de pompage. Elle répond aux exigences actuelles de l'industrie moderne en matière de sécurité, de disponibilité et d'optimisation des ressources.

Référence bibliographique

- [1]https://www.ubestplc.com/ar/blogs/news/the-marriage-of-precision-how-industrial-automation-revolutionizes-metrology?_pos=11&_sid=118b09baf&_ss=r
- [2]<https://www.rteng.com/blog/open-loop-vs-closed-loop-control-systems>
- [3]https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_contr%C3%B4le_et_d%27acquisition_de_donn%C3%A9es
- [4] <https://biblus.accasoftware.com/en/scada-for-water-systems-technologies-security-interoperability/>
- [5]<https://maplesystems.com/product-brochure/scada-solutions/?srsltid=AfmBOopWMXnWPpy3EAiVYU15v8htL9oR0AFV8vW1-HAPOL56KDJGL6qo>
- [6]<https://share.google/ZR31oIQazzubCSJ3>
- [7] <https://fac.umc.edu.dz>
- [8]<https://www.burkert.fr>
- [9]https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/fr/m241prg/m241prg/Industrial_Ethernet_Manager/Industrial_Ethernet_Manager-2.htm
- [10]<https://tikno.edutech.dz/products/capteur-du-niveau-deau-du-petit-flotteur-p-35>
- [11]<https://www.camlogic.it/fr/line/capteurs-de-niveau-capacitifs>
- [12]<https://share.google/RLkmRmTrZMs1d6Syh>
- [13]<https://iram-tunisie.com/fonctionnement-d-un-capteur-de-debit/>
- [14]<https://www.amazon.fr/D%C3%A9bitm%C3%A8tre-Daffluent-Interrupteur-FlowSensor-Refroidisseur/dp/B0CC26C8YG>
- [15]<https://share.google/zHOvGLCwGwCDeF6Xl>

[16]<https://share.google/images/qCvfvHLdVxtvDoZqm>

[17]<https://www.lelectricien.net/voyants-led-24v-230v-/4059-voyant-lumineux-24v.html>

[18] <https://www.franceenvironnement.com/question/quels-sont-les-avantages-et-les-inconvenients-un-capteur-a-flotteur>