الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure de Technologie

Département : Génie Electrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de projet de fin d'études

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en **Automatique**

Spécialité
Automatique et informatique industrielle

Conception et réalisation d'un système de commande et de supervision centralisé d'une unité de forage

Réalisé par

HAMDI Hamza

OUAGUINI Abdelhadi

Présenté et soutenu publiquement le (06/07/2023)

Composition du Jury :

Président	Mme. Faiza BELHACHAT,	M.C.A	ENST
Promoteur	M. Reda DERMOUCHE,	M.A.A	ENST
Examinateur	Mme. Djamila BENDOUDA,	M.C.B	ENST
Examinateur	Mme. Imane DROUICHE	M.C.B	USTHB

Année universitaire 2022 –2023

20 Médailles d'or
Exposition Universelle de Paris 1889

حمود
HAMOUD

ARAFA Mustapha
HAMOUD BOUALEM

Ecole National Supérieur Des Technologies Avancées
Dergana, Alger

Fait à Boufarik, blida le 08/06/2023

Objet : Évaluation du stage fin d'étude des étudiants, HAMDI Hamza et OUAGUINI Abdelhadi.

Madame, Monsieur,

Je soussigné, Monsieur ARAFA Mustapha, ingénieur en automatique (département maintenance), déclare avoir suivi avec attention le stage de HAMDI Hamza et OUAGUINI Abdelhadi effectué au sein de HAMOUD BOUALEM, du 19/02/2023 au 23/03/2023, et pour lequel nous lui avions confié les missions de la conception et la réalisation d'un système SCADA pour nos stations de forage.

Au cours de ces semaines passées avec nous, Monsieur HAMDI Hamza et Monsieur OUAGUINI Abdelhadi ont fait preuve de leur capacité à s'adapter à notre équipe. Tous les collègues avec lesquels je m'associe sont d'accord pour reconnaître les qualités professionnelles et relationnelles de Monsieur HAMDI Hamza et Monsieur OUAGUINI Abdelhadi.

Durant l'exercice de leur stage, Monsieur HAMDI Hamza et Monsieur OUAGUINI Abdelhadi ont surent se montrer leurs qualités techniques, sociales, et un réflexe d'ingénieurs impressionnant. Nous avons par ailleurs eu l'opportunité de découvrir des personnes très humaines et très cultivées.

En qualité de ce projet réalisé et qui est maintenue par l'entreprise (conception et réalisation d'un système SCADA pour nos stations de forage), je tiens à vous faire savoir que ce fut un réel plaisir pour moi de collaborer avec Monsieur HAMDI Hamza et Monsieur OUAGUINI Abdelhadi.

Je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, mes salutations respectueuses.

Signature

ARAFA Mustapha
Automaticien

Remerciements

Louanges à Allah le Tout Puissant.

Qu'Il nous pardonne et nous guide vers le droit chemin.

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre gratitude à notre encadrant Mr DERMOUCHE Reda, et Mr ARAFA Mustapha (hamoud boualem) pour son précieux soutien, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de ce projet. Sa grande expertise dans le domaine de l'automatisme a été une source d'inspiration et d'enrichissement pour nous deux.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à nos parents, nos familles et nos amis, pour leur soutien indéfectible, leur encouragement et leur confiance en nous. Leur amour et leur soutien inconditionnel ont été une source de motivation tout au long de ce projet.

Nous remercions les membres du jury d'avoir donné de leur temps afin d'examiner cet humble travail.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble du corps professoral et administratif de l'École Nationale Supérieure de Technologie pour la richesse et la qualité de leur enseignement et les grands efforts qu'ils ont déployés pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Enfin, merci à toutes celles et ceux qui nous ont aidés dans l'accomplissement de ce mémoire.

Table des matières

Liste des figures I
Liste des tableaux V

Introduction générale **1**

I Présentation de l'entreprise : Équipements et Processus **3**
I.1 Présentation de l'entreprise hamoud boualem et ses activités 3
I.1.1 Introduction 3
I.1.2 Historique 3
I.1.3 Hamoud Boualem aujourd'hui 4
I.1.4 Organisation de Hamoud Boualem : 4
I.1.5 Description de l'unité Hamoud Boualem (Boufarik) 5
I.1.6 Procédé de fabrication 5
I.1.7 Le traitement d'eau 5
I.1.8 La siroperie : 6
I.1.8.1 Préparation du sirop simple 6
I.1.8.2 Préparation du sirop fin 6
I.1.9 Lignes de production 6
I.1.9.1 Le mixeur 6
I.1.9.2 L'unité de remplissage 7
I.2 Description des stations de forage et traitement des eaux et leur mode de fonctionnements : 8
I.2.1 Station de forage 9
I.2.1.1 Les interfaces de l'IHM du système local de forage 11
I.2.2 Station traitement des eaux 12
I.2.2.1 Les interfaces de l'IHM de la station traitement des eaux . 12
I.3 Problématique et objectifs 12
I.4 Présentation du schéma P&ID du système étudié 13
I.4.1 Définition de schéma P&ID 13
I.4.2 Description détaillée des différents éléments de système 15
I.4.3 Une prise d'alimentation 22
I.4.4 Les automates programmables industriels 22
I.4.4.1 La turbidité 24
I.5 Explication du fonctionnement du système de régulation automatique . . . 28
I.5.1 Début de processus 29
I.5.2 Au niveau de cuve d'eau brute 29
I.5.3 Solution proposée 30

I.6 Conclusion 31

II Automatisation et supervision 32

II.1 L'automatisation 32
II.1.1 Introduction : 32
II.1.2 Les objectifs de l'automatisation : 32
II.1.3 Les avantages et inconvénients de l'automatisation : 33
II.1.4 Domaines d'utilisation de l'automatisation : 33
II.1.5 Structure d'un système automatisé : 33
II.1.5.1 Partie relation : 34
II.1.5.2 Partie commande : 34
II.1.5.3 Partie opérative : 34
II.2 Les automates programmables 35
II.2.1 Historique 35
II.2.2 Définition des API 35
II.2.3 Types des API 35
II.2.3.1 Design compact 35
II.2.3.2 Design modulaire 35
II.2.4 Structure d'un API 36
II.2.5 Principe de fonctionnement des API 38
II.2.6 Les langages de programmation utilisés par les API 38
II.2.7 Les différentes gammes des API 40
II.2.8 Choix d'API 40
II.2.9 SIMATIC S7-1200 40
II.2.10 SIMATIC S7-300 41
II.3 La supervision 42
II.3.1 Définition et objectif : 42
II.3.2 Domaine d'application : 42
II.4 Système SCADA : 43
II.4.1 Définition 43
II.4.2 Architecture d'un système SCADA 43
II.4.2.1 Partie software 43
II.4.2.2 Partie Hardware 44
II.4.2.3 Une Interface Homme/Machine (IHM) 44
II.4.3 Les éléments principaux d'un système SCADA 45
II.4.4 Les générations de système SCADA 45
II.4.4.1 Système SCADA monolithique 45
II.4.4.2 Système SCADA distribué 46
II.4.4.3 Système SCADA en réseaux 47
II.4.4.4 Les systèmes SCADA 4.0 IOT 47
II.5 Concept CIM (”Computer Integrated Manufacturing”) 48
II.5.1 Pyramide CIM 48
II.6 Partie communication 49
II.6.1 Introduction 49

II.7 Modèle OSI 50
II.8 Profinet (Process Field Network) : 51
II.8.1 Choix de PROFINET 51
II.8.2 Les avantages de PROFINET 52
II.8.3 Topologie de réseau : 52
II.8.4 La relation entre PROFINET et le modèle OSI 52
II.9 Conclusion 53

III Programmation et Implémentation 54
III.1 Introduction 54
III.2 TIA PORTAL 54
III.2.1 Les extensions utilisées 54
III.2.1.1 SIMATIC WinCC runtime professionnel 55
III.2.1.2 Logiciel S7-PLC Sim 55
III.3 Présentation du TIA PORTAL 55
III.3.1 Ouverture de logiciel 55
III.3.2 La configuration matérielle 56
III.4 Partie programmation 61
III.4.1 Les abonnés accessibles au programme : 62
III.4.2 L'architecture de réseau 63
III.5 Description du code 63
III.5.1 Principe de fonctionnement général du code 63
III.5.2 Les différents blocs de notre programme 64
III.6 La réalisation d'un système SCADA 74
III.7 Conception et réalisation des interfaces graphiques 77
III.7.1 Création des interfaces graphiques 77
III.8 Partie Implémentation et résultats 80
III.8.1 Interface d'accueil 81
III.8.2 Interface du forage 1 82
III.8.2.1 Mode de supervision à distance 82
III.8.3 Interface du forage 3 84
III.8.4 Réservoir d'incendie 84
III.9 Conclusion 85

Liste des figures

Fig. I.1 Organigramme de la direction générale 4
Fig. I.2 Schéma synoptique général des étapes de fabrication des boissons sucrées 5
Fig. I.3 Schéma synoptique du procédé de traitement d'eau 5
Fig. I.4 Schéma des lignes de remplissage 7
Fig. I.5 Schéma global des stations de forages et traitements des eaux 8
Fig. I.6 Station de forage 1 9
Fig. I.7 Les équipements dans le local de la station de forage 9
Fig. I.8 Armoire de commande de station de forage 1 10
Fig. I.9 Interface processus forage 1 en mode local 11
Fig. I.10 Interface des bâches à eau en mode local 11
Fig. I.11 L'interface HMI dans l'unité de traitement des eaux 12
Fig. I.12 Le schéma P&ID du processus à superviser 14
Fig. I.13 Image de la pompe (SP 46-6) 15
Fig. I.14 Image d'un clapet 15
Fig. I.15 Description du clapet 16
Fig. I.16 Contrôleur de direction d'écoulement 16
Fig. I.17 Capteur de niveau TOR (LMT192 16
Fig. I.18 Filtre évent 17
Fig. I.19 Armoire de commande 17
Fig. I.20 Le transformateur de tension 18
Fig. I.21 Fonctionnement de ce transformateur de tension 18
Fig. I.22 Porte fusible schneider 19
Fig. I.23 Les disjoncteurs schneider 19
Fig. I.24 Alimentation Siemens SITOP PSU100S 20
Fig. I.25 Bornier électrique 20
Fig. I.26 Thermostat et hygrostat 21
Fig. I.27 Relais de niveau 21
Fig. I.28 Le commutateur Scalance X104-2 22
Fig. I.29 Automate S7-1200 23
Fig. I.30 Vanne papillon manuelle 23
Fig. I.31 Vanne manuelle 23
Fig. I.32 Transmetteur de Turbidité 24
Fig. I.33 Débitmètre de forage 25

Fig. I.34 Manomètre . . . 25
Fig. I.35 Transmetteur de Conductivité . . . 25
Fig. I.36 Prise d'échantillon GEMÜ . . . 26
Fig. I.37 Vanne pneumatique Auto . . . 26
Fig. I.38 Capteur de niveau tank (FMX167) handress+hauser . . . 27
Fig. I.39 VLT AQUA Drive FC 202 . . . 27
Fig. I.40 Fonctionnement du système de régulation automatique . . . 28
Fig. I.41 Tuyauterie forage vers bâches à eau . . . 29
Fig. I.42 Niveaux et seuils des bâches à eaux . . . 30
Fig. I.43 Schéma descriptif de la solution proposée . . . 31

Fig. II.1 Structure d'un système automatisé . . . 34
Fig. II.2 Un schéma d'un système automatisé . . . 34
Fig. II.3 API de type compact . . . 35
Fig. II.4 API de type modulaire . . . 36
Fig. II.5 Rack . . . 37
Fig. II.6 Architecture interne d'un API . . . 37
Fig. II.7 Un cycle de fonctionnement d'un API . . . 38
Fig. II.8 Symboles les plus fréquents du ladder . . . 39
Fig. II.9 Les modules de l'S7-1200 . . . 41
Fig. II.10 Les modules de l'S7-300 . . . 41
Fig. II.11 Tâches de la supervision . . . 42
Fig. II.12 Architecture d'un système SCADA . . . 45
Fig. II.13 Système SCADA monolithique . . . 46
Fig. II.14 Système SCADA distribué . . . 46
Fig. II.15 Système SCADA en réseaux . . . 47
Fig. II.16 Les systèmes SCADA 4.0 IOT . . . 48
Fig. II.17 Pyramide CIM . . . 48
Fig. II.18 Les couches de modèle OSI . . . 50
Fig. II.19 Profinet (Process Field Network) . . . 51
Fig. II.20 Les topologies de réseau . . . 52
Fig. II.21 La relation entre PROFINET et le modèle OSI . . . 53

Fig. III.1 Présentation du logiciel . . . 55
Fig. III.2 Ajout d'un API sur TIA PORTAL . . . 56
Fig. III.3 Configuration d'un API . . . 56
Fig. III.4 Les blocs de programme . . . 57
Fig. III.5 Évènements déclencheurs dans le système d'exploitation et appels de OB . . . 57
Fig. III.6 Bloc fonctionnel et instance avec appel d'un bloc d'organisation Main [OB1] . . . 58
Fig. III.7 Fonction avec appel d'un bloc d'organisation Main [OB1] . . . 59

Fig. III.8 Différence entre bloc de données global et bloc de données d'instance 59
Fig. III.9 Les différents IHM disponibles 60
Fig. III.10 Configuratoin IHM 60
Fig. III.11 Ajout d'PC station et une application SIMATIC HMI 61
Fig. III.12 Les abonnés accessibles au programme 62
Fig. III.13 Définition des abonnés accessibles au programme 62
Fig. III.14 Architecture de réseau 63
Fig. III.15 Fonctionnement du code 63
Fig. III.16 Les paramètres configurables de l'API 64
Fig. III.17 Les blocs de notre programme 64
Fig. III.18 Réseau principal 65
Fig. III.19 Réseaux d'activation mode local auto 65
Fig. III.20 Réseau des conditions pour l'activation du cycle automatique 65
Fig. III.21 Excitation du variateur de vitesse 66
Fig. III.22 Fonctionnement du mode local 66
Fig. III.23 Activation mode distant automatique 67
Fig. III.24 Réseau d'activation du mode distant automatique 67
Fig. III.25 Réseau d'activation mode distant manuel 67
Fig. III.26 Schéma de fonctionnement du mode distant 68
Fig. III.27 Réseau d'activation des phases 68
Fig. III.28 Activation des différentes phases 69
Fig. III.29 Réseau d'affectation des sorties 69
Fig. III.30 Affectation des sorties 70
Fig. III.31 Réseau principal de communication de l'unité de forage 1 70
Fig. III.32 Bloc fonction get 71
Fig. III.33 Configuration fonction get 71
Fig. III.34 Configuration fonction get 2 71
Fig. III.35 Réseau d'ordre 72
Fig. III.36 Différents défauts du système 72
Fig. III.37 Réseau d'acquittement des défauts 73
Fig. III.38 Détection des défauts 73
Fig. III.39 Tables des variables 74
Fig. III.40 Ajout d'une station pc 74
Fig. III.41 Connexion entre Wincc professionnel et les API 75
Fig. III.42 Changement point d'accès vers S7 online 75
Fig. III.43 Choix de carte réseau 76
Fig. III.44 Les interfaces graphiques 76
Fig. III.45 Table des variables 76
Fig. III.46 Démarrage de la programmation des interfaces graphiques 77
Fig. III.47 Ajout des vues 78
Fig. III.48 Les équipements disponibles sur TIA PORTAL 78

Fig. III.49 Affectation des variables de processus 79
Fig. III.50 Configuration des boutons 79
Fig. III.51 Les différentes évènements sur TIA PORTAL 80
Fig. III.52 Photo réelle depuis la salle de contrôle 80
Fig. III.53 Interface d'accueil 81
Fig. III.54 Fenêtre de configuration 81
Fig. III.55 Interface du forage 1 en mode distant manuel 82
Fig. III.56 Interface du forage 1 en mode distant automatique 83
Fig. III.57 Interface forage 3 en mode distant manuel 84
Fig. III.58 Interface Réservoir d'incendie 84

Liste des tableaux

Tab I.1 Caractéristique de le pompe SP 46-6 15
Tab I.2 Caractéristiques du SITOP PSU100S 20
Tab I.3 Caractéristiques de commutateur scalance X104-2 22
Tab I.4 Caractéristiques de FMX167 27
Tab I.5 Caractéristique du VLT 28

Acronymes

SCADA *Supervisory Control And Data Acquisition*

API *Automate Programmable industriel*

CPU *Central Processing Unit*

VLT *Variateur de vitesse*

IHM *Interface homme-machine*

IOT *Internet of Things*

MTU *Master Terminal Unit*

PLC *Programmable Logic Controller*

OSI *Open Systems Interconnection*

PERMO *Station traitement des eaux*

TOR *Tout ou rien*

VA *Vanne automatique*

ERP *Entreprise Resources Planning*

MES *Manufacturing Execution System*

Introduction générale

Avec les progrès technologiques d'aujourd'hui, l'automatisation est devenue essentielle dans le monde industriel pour améliorer les performances des systèmes. Le but est de diminuer ou d'éviter l'intervention de l'être humain dans le but d'accroître la production et de gagner du temps.

L'automatisation implique l'utilisation des applications pour automatiser des tâches et les intégrer dans des systèmes. L'interconnexion de ces applications permet la fluidité des opérations, grâce à l'automatisation qui facilite et améliore leur exécution.

Aujourd'hui, les systèmes automatisés nécessitent la mise en place des outils de supervision car c'est un élément clé pour la maîtrise des processus industriels, permettant aux entreprises de rechercher constamment une meilleure productivité et une qualité accrue tout en réduisant les coûts. La surveillance assure également la sécurité des équipements et du personnel impliqué dans les opérations, tout en minimisant les impacts environnementaux.

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, l'entreprise nous a sollicité afin de concevoir et réaliser un système de supervision pour les stations de forage.Ce projet consiste à développer une solution SCADA pour offrir une surveillance globale et une régulation optimale des deux stations.

L'objectif est d'accroître la qualité et la productivité avec une gestion adéquate des ressources. L'interface utilisateur intuitive réalisée permet une surveillance en temps réel des processus de production et de traitement des eaux pour les opérateurs.

La solution SCADA intègre également une fonctionnalité de détection des potentiels défaillants. Cela favorise la résolution rapide des problèmes ainsi que la diminution des temps d'arrêt des équipements. Grâce à la solution proposée, les opérateurs ont accès à des informations en temps réel sur l'état des équipements et des processus. Ce qui leur permet de prendre des décisions plus efficaces, en vue d'améliorer la qualité et la productivité du travail.

Dans ce mémoire, nous présenterons les tâches effectuées pour développer cette solution SCADA.

Nous montrerons également les résultats de notre solution, l'amélioration de la productivité et de la qualité du travail.

Notre travail se divise en trois grands chapitres :

Chapitre I : Ce chapitre nous allons faire une présentation de l'entreprise et ses différentes stations ainsi que la problématique.

Chapitre II : Ce chapitre se concentre sur les différents aspects clés de ce projet tels que l'automatisation, les automates programmables, la supervision, les systèmes SCADA, la pyramide CIM et la partie communication. Il explore aussi comment ces éléments interagissent pour optimiser les processus industriels et améliorer l'efficacité opérationnelle.

Chapitre III : Le dernier chapitre est consacré a la partie de programmation, et les résultats de l'implémentation.

Chapitre I

Présentation de l'entreprise : Équipements et Processus

I.1 Présentation de l'entreprise hamoud boualem et ses activités

I.1.1 Introduction

La production de la boisson gazeuse se fait à base d'un mélange des produits (sirop fini+eau+co2), et cela à l'aide d'un mixeur que nous allons décrire dans ce chapitre ainsi que ses différents instruments.

I.1.2 Historique

En 1848, Youssef Hamoud entre comme simple ouvrier dans une fabrique d'eaux gazeuses en Algérie. Trois ans plus tard, il ouvre son petit atelier de fabrication, commençant alors à créer artisanalement sa limonade (celle qui deviendra le Hamoud) à partir d'essence de citron, d'orange ou de mandarine dans le quartier de Belcourt (aujourd'hui Belouizdad). Il s'embarque pour Marseille où il apprend les procédés de fabrication et de mise en siphons, procédé alors inconnu en Afrique.
Il est naturalisé français en 1860,en 1863, il s'associe à Revest, À son retour à Alger, en 1878, Hammoud fait construire la première usine produisant principalement de l'eau gazeuse, pour les liqueurs seulement, et annexe à son premier établissement une distillerie. Il ouvre plusieurs usines auxiliaires en Algérie, à Tanger au Maroc, à Tunis en Tunisie et à Alexandrie en Égypte. Le 19 juin 1884, la maison J.Hamoud devient Société Hamoud fils, Revest et Cie productrice de liqueurs, vins, spiritueux, limonade et eaux gazeuses.
Hamoud se voit décerner plusieurs récompenses aux expositions auxquelles il participe : une médaille d'or, en 1862, à Londres, deux médailles d'or et deux d'argent, en 1876 et en 1881, à Alger, deux récompenses à la grande exposition de Paris en 1878 et de Caen. Le 9 août 1889, le nom Hamoud (pour la limonade) est déposé. La boisson Hamoud est présentée à l'Exposition universelle de Paris de 1889 (classement hors concours).

I.1.3 Hamoud Boualem aujourd'hui

En 1998, une concession est également accordée à Parot, dans la Loire, pour la production du Selecto. En 2000, l'entreprise s'associe pour fonder la société SBA (Sodas et Boissons d'Algérie), qui produit toutes les boissons de la gamme Hamoud Boualem. Depuis 2008, la société est une société par actions. A partir de 2010, Hamoud Boualem rentre dans le capital d'une usine de jus de fruits avec des investisseurs privés à Sétif. Depuis 2011, la société accélère sa croissance. La société se diversifie dans les eaux embouteillées avec l'acquisition d'une entreprise d'eau de source à Sidi bel Abbès et une autre d'eau minérale à Akbou en Kabylie, l'usine et la marque JUTOP à Boufarik et un terrain adjacent pour accueillir une nouvelle usine de sodas. Ceci est un grand changement pour l'entreprise en si peu du temps. Il est alors rapidement mis en place une stratégie de fabrication globale, une charte de qualité interne transversale pour l'ensemble de l'entreprise et un progiciel de gestion intégré (ERP) pour amener le mode de gestion aux meilleurs standards de planification et de gestion internationaux. La société Hamoud Boualem change alors sa physionomie et se structure autour de trois piliers : sodas, jus, et eaux.Un important plan d'investissement est mis en place en 2011 pour les boissons gazeuses de façon à substituer progressivement l'usine du centre-ville d'Alger. Cette nouvelle usine à Boufarik (Blida), est prévue pour le premier trimestre 2015. Mohamed Réda Hammoud assume la Présidence et la Direction Générale de la société.

I.1.4 Organisation de Hamoud Boualem :

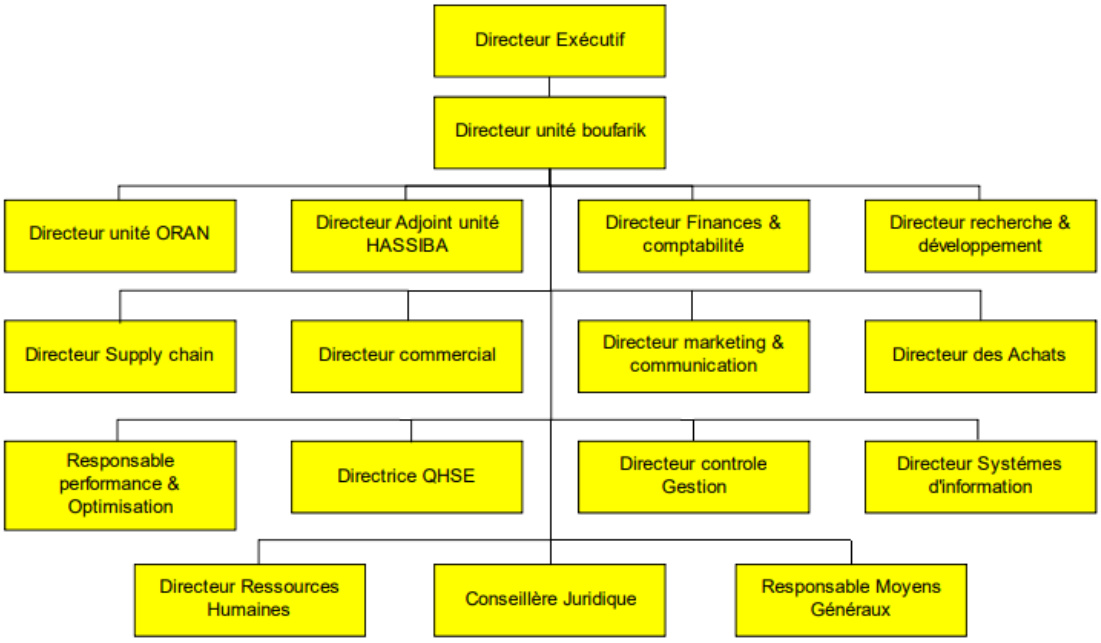


Fig. I.1 – Organigramme de la direction générale

I.1.5 Description de l'unité Hamoud Boualem (Boufarik)

L'usine de Boufarik est située sur la route nationale n°1 Est-Ouest, Centre Bouagab, Propiété N°03, Ilot 13 à Boufarik -Blida, dont la production a commencé en 2015.Cette entreprise algérienne, en effet, respecte les normes de qualité qui conservent le contenu et le contenant. Les produits de Hamoud sont : Hamoud, Slim, Selecto, Bitter, Cola. Le remplissage se fait dans des emballages ; Bouteilles en plastiques PET (0,33L, 1L, 2L), et canettes (0,33L). L'usine contient trois lignes de production plus une ligne de canette.

I.1.6 Procédé de fabrication

La fabrication des boissons gazeuses ou de jus de fruits dans les industries agroalimentaires, nécessite essentiellement trois grandes stations :

1- L'unité de traitement d'eau
2- La siroperie
3- La production

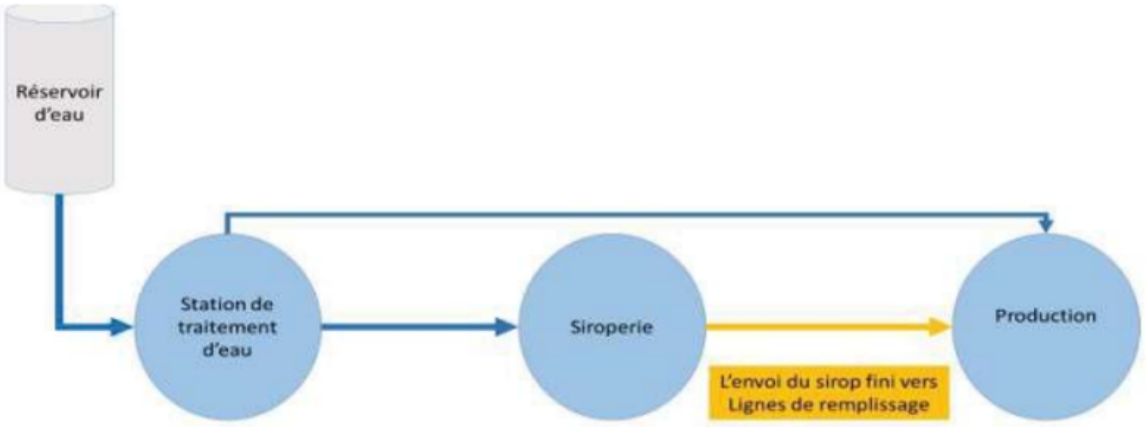


Fig. I.2 – Schéma synoptique général des étapes de fabrication des boissons sucrées

I.1.7 Le traitement d'eau

Ce traitement permet d'éliminer les sels minéraux constitués de fer et de manganèse qui influent sur le goût, l'odeur ainsi que l'apparence de la boisson.

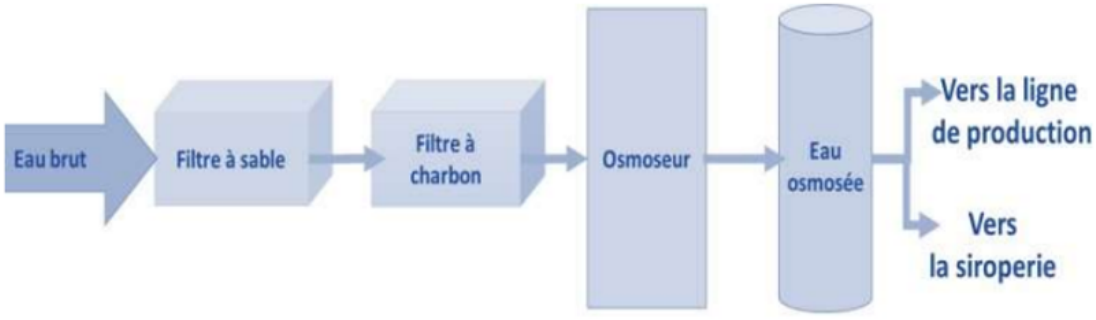


Fig. I.3 – Schéma synoptique du procédé de traitement d'eau

I.1.8 La siroperie :

I.1.8.1 Préparation du sirop simple

Cette partie se divise en deux étapes :
Alimentation et dissolution du sucre : Cette étape commence par la dissolution du sucre on soulève le sac de sucre qu'on verse dans une cuve ensuite à l'aide d'une vis sans fin qui amène le sucre vers une cuve de dissolution où il se mélange avec de la vapeur pour le faire fondre ensuite on ajoute de l'eau pour contrôler le niveau de BRIX (L'échelle de Brix sert à mesurer en degrés Brix la fraction de saccharose dans un liquide, c'est-à-dire le pourcentage de matière sèche soluble. Plus le °Brix est élevé, plus l'échantillon est sucré. Un degré Brix équivaut à 1 gramme de saccharose pour 100 grammes de solution), qui doit être à une valeur constante de 65°BRIX ,la mesure de ce pourcentage de sucre se fait à l'aide d'un laser qui mesure l'angle de réfraction. Le mélange d'eau et de sucre se fait en continu dans un circuit fermé, afin de favoriser la dissolution complète du sucre.

Refroidissement du sirop : Le sirop simple obtenu subit un refroidissement dans un échangeur thermique. pour baisser la température. A la fin de cette dernière étape, le sirop simple sera dirigé vers les cuves de stockage.

I.1.8.2 Préparation du sirop fin

Après l'achèvement de la préparation du sirop simple, la fabrication du sirop fini débute par le transfert du sirop simple vers les réservoirs de mélange. On y introduit par la suite d'autres ingrédients contenus dans des petites stations. Les ingrédients sont définis comme suit :

- Les acides (les antioxydants, conservateurs…) .
- Les concentrés.
- Les sorbates.

Ces derniers sont mélangés dans l'unité de préparation de sirop fini. Le mixage s'effectue avec le sirop simple à l'aide d'un agitateur qui maintient l'agitation pendant 30 min. Le produit obtenu repose environ 1h afin d'assurer sa dés-aération, puis il est contrôlé par l'opérateur qui veille sur sa conformité en réglant tous les paramètres en question, à savoir la température, les degrés brix, et bien d'autres paramètres.

I.1.9 Lignes de production

Les lignes de production permettent d'alimenter les unités de remplissage avec le produit demandé. Aussi, le sirop fini est envoyé de la siroperie vers l'unité de production de boisson final et de remplissage. Au niveau de ces unités le sirop passe par : Le mixeur, et l'unité de remplissage.

I.1.9.1 Le mixeur

Pour obtenir une boisson gazeuse, le sirop fini doit passer par le mixeur .Celui-ci représente l'avant dernière phase de la production, il permet de mélanger le sirop fini avec l'eau traitée refroidie par les groupes glacés et du gaz carbonique dans des proportions bien définies.

I.1.9.2 L'unité de remplissage

Hamoud Boualem (Boufarik) dispose de quatre lignes de remplissage, chacune d'elles est composée de différents éléments caractérisés selon la nature de l'emballage (la bouteille). Le diagramme ci-dessous explique le processus de production du début jusqu'à la fin.

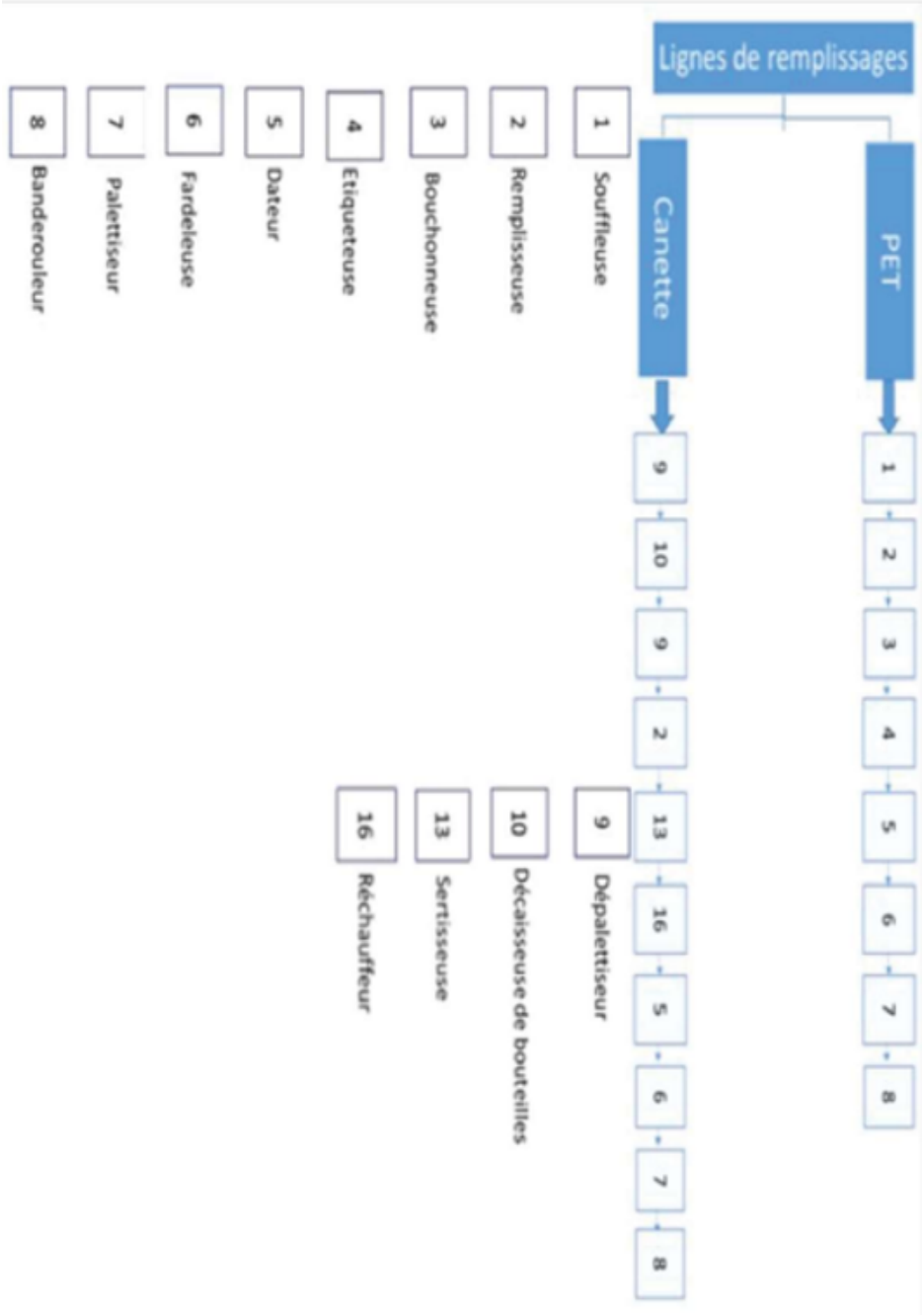


Fig. I.4 – Schéma des lignes de remplissage

I.2 Description des stations de forage et traitement des eaux et leur mode de fonctionnements :

L'unité de forage de Hamoud Boualam se compose de trois stations de forage qui alimentent en eau les divers réservoirs de l'usine d'une superficie totale de 36 000 mètres carrés (120m x 300 m). La figure suivante représente le schéma global de notre système

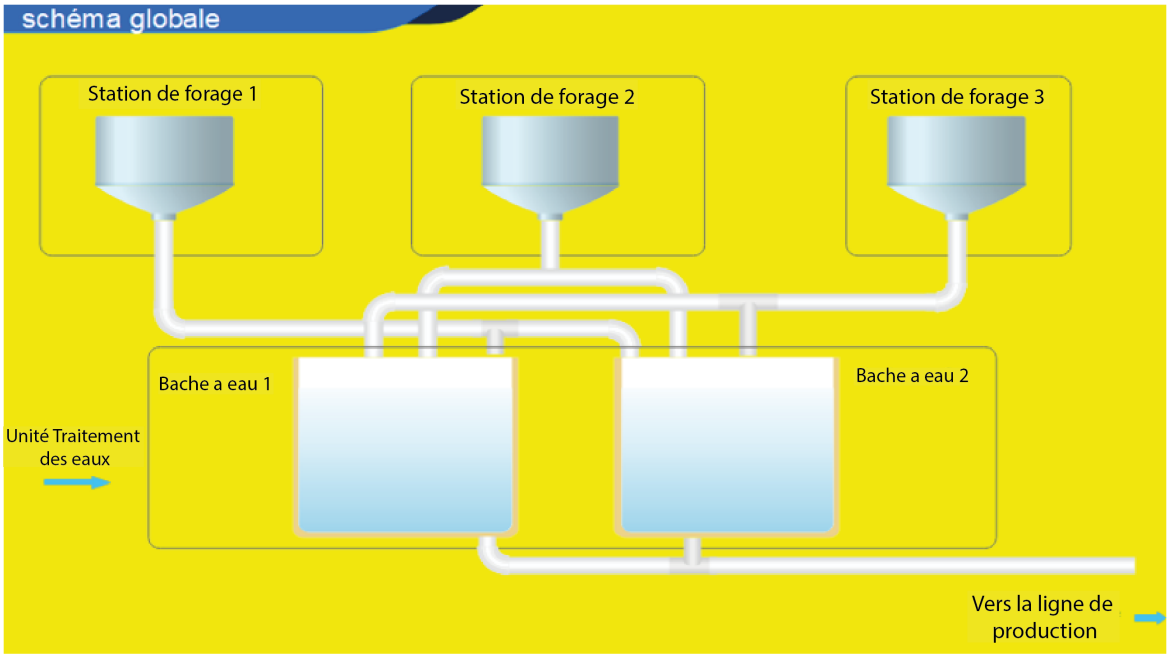


Fig. I.5 – Schéma global des stations de forages et traitements des eaux

Il est remarquable que chaque unité de forage alimente les deux bâches à eaux. Les opérateurs sélectionnent quelle unité de forage qui va être activée, ils prennent ces décisions selon l'utilisation d'eau par l'unité de production. Néanmoins, il reste comme un système redondant en cas de défaillance de l'un de ces unités de forages. La distribution de l'eau stockée dans ces réservoirs se fera vers la chaîne de production.

L'opérateur de l'installation de traitement des eaux reste en permanence devant l'interface homme-machine pour assurer le contrôle et la gestion du système en vue de prévenir les risques et d'assurer une production continue.

NB : il faut toujours de respecter les conditions d'hygiènes et sécurité à chaque rentré de l'un des opérateurs ou technicien à l'unité et toutes ces conditions sont inclus dans la réglementation intérieur de Hammoud Boualam et chaque dépassement illicite des pénalisations seront imposées sur le contrevenant.

I.2.1 Station de forage

On entame avec l'unité de forage, où nous aborderons l'une des trois stations qui opèrent toutes de la même façon.

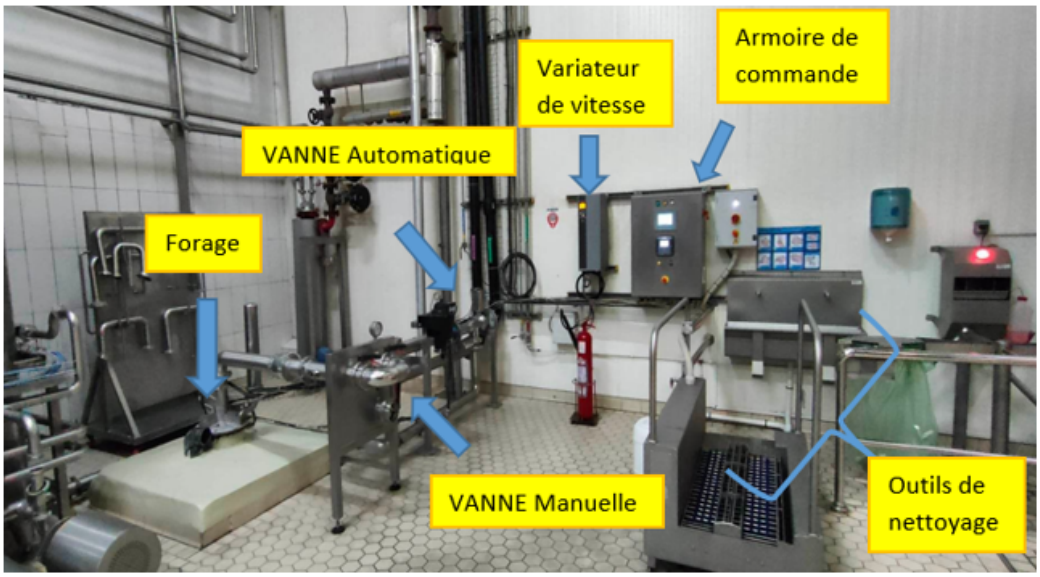


Fig. I.6 – Station de forage 1

L'unité de forage est composée de plusieurs éléments qui sont importants pour contrôler et commander le système (les vannes les capteurs etc…), et la figure suivante représente un schéma qui résume les différents composants de cette station :

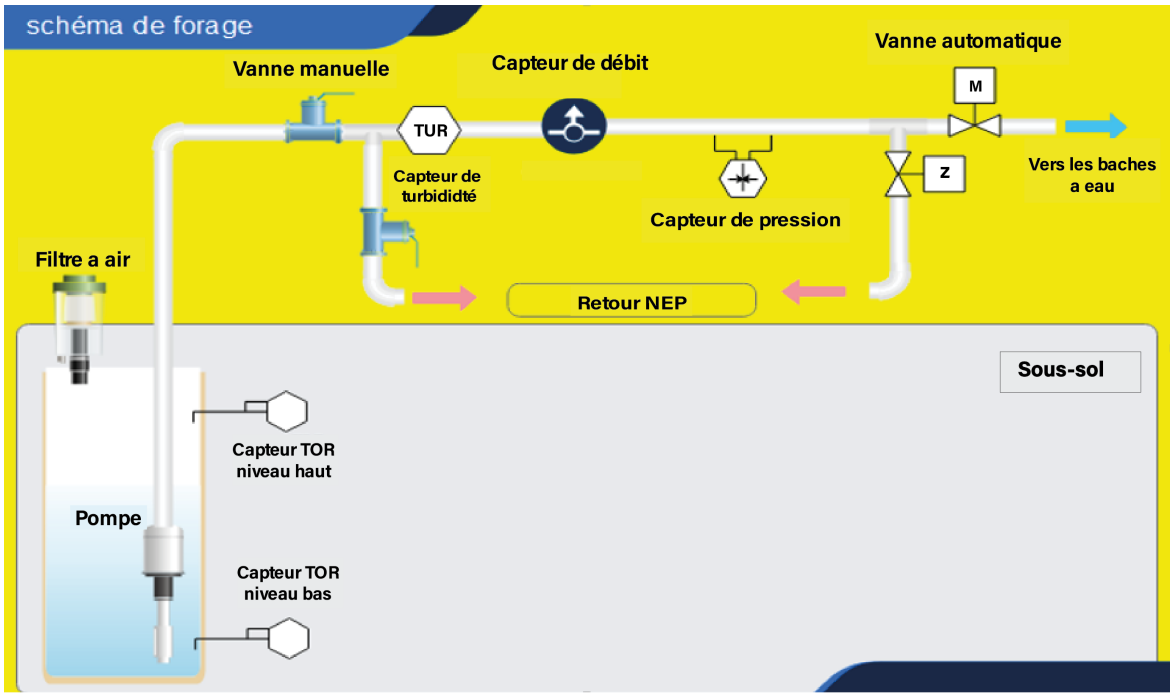


Fig. I.7 – Les équipements dans le local de la station de forage

Les trois stations sont équipées d'un système de contrôle local, ce qui oblige les opérateurs et les ingénieurs de se déplacer entre les deux unités en cas de problème pour intervenir.

La présence d'un système de contrôle local des unités de forage n'est pas suffisant. Dans le cas où une intervention manuelle est nécessaire pour régler un mal fonctionnement ou une panne, les opérateurs doivent être disponibles pour surveiller l'équipement de forage et répondre rapidement à toute urgence, par exemple si la turbidité est élevée dans l'eau remplie dans les cuves une intervention manuelle sera opérée pour ouvrir les vannes manuelles et évacuer l'eau usée vers l'égout.

La station est équipée d'une armoire électrique qui contient :

- Un switch pour faire le basculement entre les deux modes, d'un Bouton d'urgence.
- Trois indicateurs lumineux (voyants) : vert pour un fonctionnement normal, jaune en cas de défaut, et blanc s'il n'est dans aucun de ces deux modes.
- Un bouton d'acquittement des défauts en jaune.
- Une IHM pour surveiller et contrôler le processus.
- Un indicateur de turbidité d'eau qui sera transmis à la ligne de production.

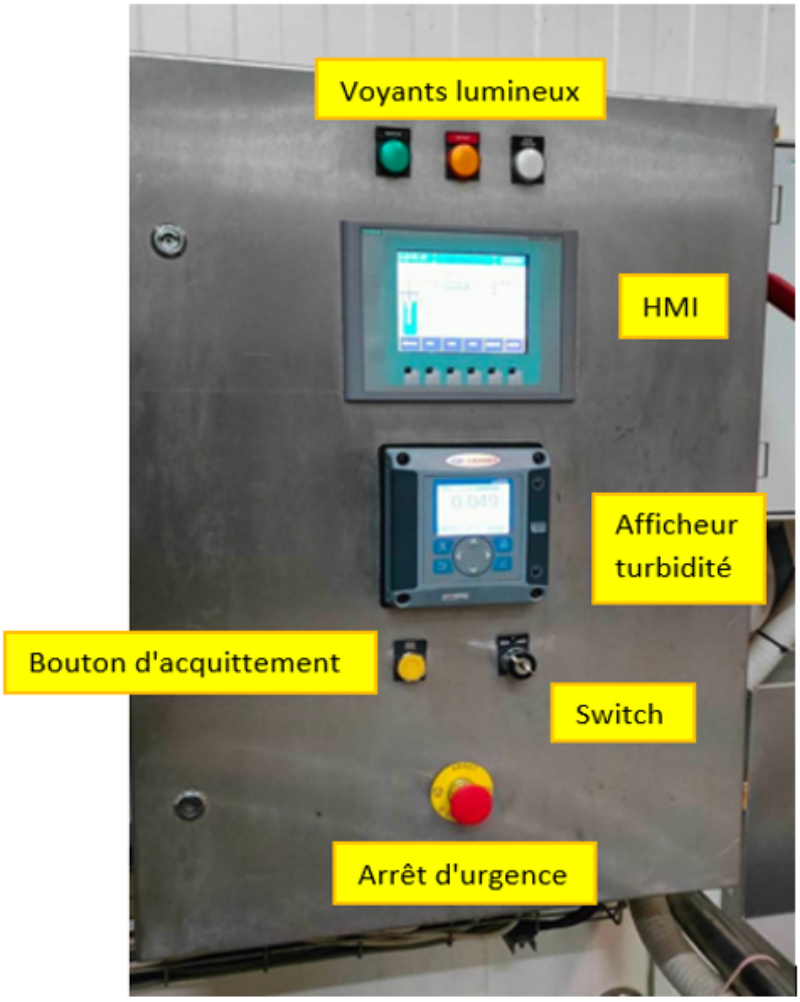


Fig. I.8 – Armoire de commande de station de forage 1

I.2.1.1 Les interfaces de l'IHM du système local de forage

Dans la figure ci-dessous une photo d'IHM qui présente l'interface du processus de forage qui est en mode manuel car le tableau de commande des deux vannes de production et de retour égout et aussi un bouton pour commander la pompe est présent. Elle donne aussi des informations sur :

- Le niveau d'eau grâce à des capteurs TOR, qui indiquent si le niveau est à niveau haut ou bas.
- Le courant consommé par la pompe.
- La turbidité de l'eau.
- Le débit d'eau transmet.
- L'état des vannes (ouverte/fermée).

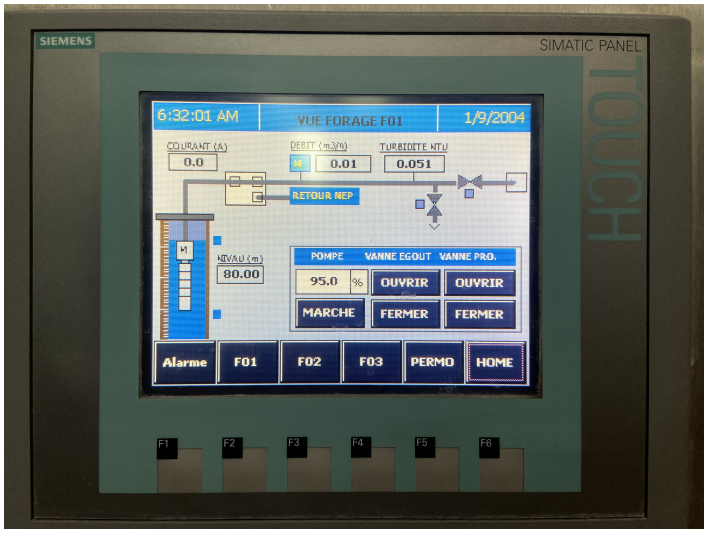


Fig. I.9 – Interface processus forage 1 en mode local

La figure ci-dessous est une image d'IHM qui représente les réservoirs d'eau dans l'unité de traitement, et affiche les seuils de niveaux d'eau ajustés par un opérateur en fonction des exigences de production, ainsi que les états des vannes de forage.



Fig. I.10 – Interface des bâches à eau en mode local

I.2.2 Station traitement des eaux

I.2.2.1 Les interfaces de l'IHM de la station traitement des eaux

La figure suivante présente les bâches à eaux illustrées par l'interface HMI dans l'unité de traitement des eaux :

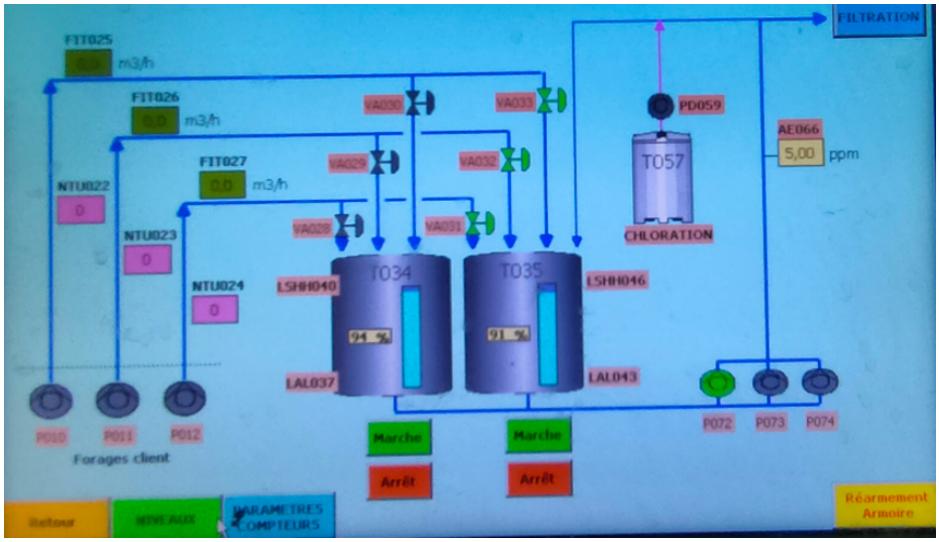


Fig. I.11 – L'interface HMI dans l'unité de traitement des eaux

Cette interface permet de visualiser les données en temps réel concernant le fonctionnement de la station de forage, notamment le pourcentage de turbidité de l'eau, le débit et les pompes utilisées pour acheminer l'eau vers la production.

Elle indique également l'état du système de chloration qui permet de traiter l'eau pour la rendre prés à la consommation. En bref, par rapport à l'IHM de forage, l'IHM fournit des informations supplémentaires importantes pour le contrôle et le suivi de la production d'eau potable.

I.3 Problématique et objectifs

La disponibilité de l'eau est primordiale, elle est extraite du sol grâce aux forages et transportée vers des stations de traitement. La surveillance manuelle est coûteuse et les temps d'arrêt de l'équipement peuvent entraîner une demande en eau insuffisante.

Malgré les IHM et la présence des opérateurs, ce n'est pas pratique de se déplacer à chaque fois entre les stations, le temps perdu reste un problème.

Pour cela nous avons proposé d'automatiser le système et ajouter une unité de supervision SCADA pour que les opérateurs pourraient surveiller et contrôler les trois stations de forages à partir d'une seule station, ce qui facilite les fonctions de commande et de contrôle et réduit les temps d'arrêt, et assure une production stable et continue pour l'ensemble de l'usine. Cependant, cela nécessite l'installation d'un système de contrôle centralisé et les coûts supplémentaires associés.

Dans le but de proposer une solution pour améliorer l'efficacité et la fiabilité des unités de forage utilisées, nous allons :

- Analyser les avantages et les inconvénients des opérations manuelles et automatiques des équipements de forage.
- Concevoir un système de contrôle et commande automatisée pour les unités de forage.
- Mettre en œuvre et faire le test du système de contrôle sur les unités de forage existantes.
- L'analyse de l'efficacité et la fiabilité du système de contrôle automatisé par rapport aux opérations manuelles.
- Proposer des recommandations pour l'optimisation continue de la performance des unités de forage.

I.4 Présentation du schéma P&ID du système étudié

I.4.1 Définition de schéma P&ID

Dans le domaine d'ingénierie on trouve souvent ce genre de diagramme qui est utilisé pour la représentation des détails technique d'un processus industriel, il décrit les différentes tuyauteries et composants d'un système physique pour savoir l'interconnexion entre ces éléments, ainsi que leur indice pour les détecter.

L'avantage de ce schéma est trouvé dans la facilité de compréhension des processus ainsi que l'optimisation d'une installation déjà existante. Pour cela il joue un rôle très important dans le domaine d'ingénierie des processus industriel.

La figure (I.12) dans la page suivante représente le schéma P&ID du processus a superviser :

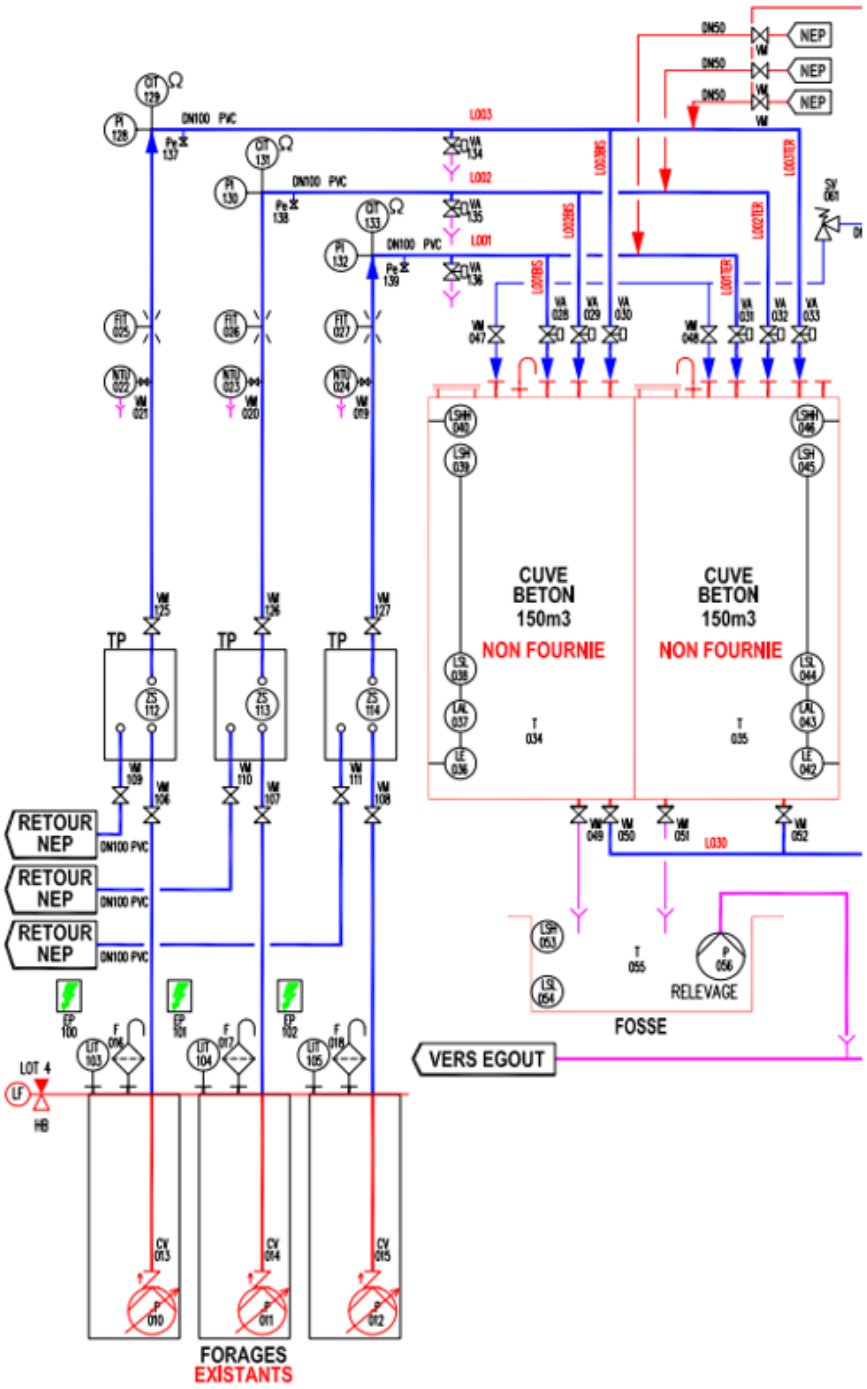


Fig. I.12 – Le schéma P&ID du processus à superviser

I.4.2 Description détaillée des différents éléments de système

-Pompe (SP 46-6) , P10/P11/P12 (voir schéma P&ID) : Cette pompe immergée peut être installée verticalement et horizontalement et toutes les pièces sont en acier inoxydable pour assurer une haute résistance à la corrosion. La pompe est homologuée pour la distribution d'eau potable et convient donc pour une utilisation dans des applications d'eau.
La pompe est équipée d'un moteur MS6000 et aussi d'un capteur Grundfos Tempcon et le panneau de commande MP204 qui permet de contrôler la température du moteur déconnecte le contacteur si les conditions de marche recommandées ne sont pas vérifiées. Le moteur est également doté d'une fonction de démarrage étoile/triangle.



Fig. I.13 – Image de la pompe (SP 46-6)

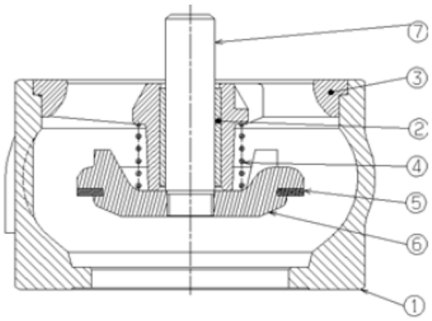
Tab. I.1 – Caractéristique de le pompe SP 46-6

matériau corps de pompe	acier inoxydable
débit volumétrique	46 m³/h
fréquence	50 Hz
courant nominal	21.8 A
puissance électrique du moteur	9.2 kW
indice de protection (IP)	IP68

-Clapet CV12/CV14/CV15 (voir schéma P&ID) :
Le clapet anti-retour de la pompe est un mécanisme installé sur la canalisation d'aspiration de la pompe pour empêcher le désamorçage lorsque celle-ci est à l'arrêt. Ce dispositif mécanique bloque le retour de l'eau vers le puits ou le forage, permettant ainsi de maintenir le flux d'eau et de garantir le bon fonctionnement de la pompe.



Fig. I.14 – Image d'un clapet



N°	Désignation	Matériaux
1	CORPS	Fonte + époxy
2	BAGUE	Bronze
3	GUIDE	Fonte + époxy
4	RESSORT	Inox
5	JOINT	EPDM
6	OBTURATEUR DN65	Bronze
	Autres DN	Fonte + époxy
7	AXE	Bronze

Fig. I.15 – Description du clapet

-Contrôleur de direction d'écoulement ZS112/113/114 (voir schéma P&ID :

C'est un dispositif utilisé pour contrôler la direction de l'écoulement d'un fluide dans une canalisation pour comprendre le sens de l'écoulement du fluide dans le processus industriel.



Fig. I.16 – Contrôleur de direction d'écoulement

-Capteur de niveau TOR (LMT192), LIT103/LIT104/LIT105 (voir schéma P&ID :

C'est un capteur de niveau qui contient un transmetteur intégré peut être utilisé pour des liquides conducteurs ou non conducteurs ayant une constante diélectrique plus de 1,8. Il est approprié pour l'installation dans des cuves stationnaires ou utilisées comme cuve stationnaire sous des pressions de -0,5 jusqu'à 10 bar pour des liquides présentant un danger pour l'eau.

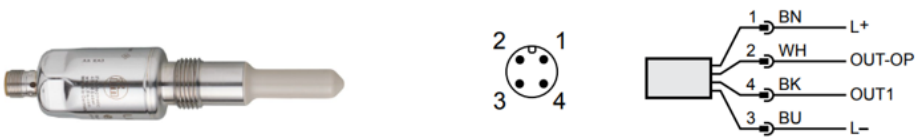


Fig. I.17 – Capteur de niveau TOR (LMT192

OUT1 :sortie de commutation 1, normalement ouvert.

OUT-OP : sortie de commutation pour la détection contre le débordement, normalement fermé.

-Filtre évent, F16/F17/F18 (voir schéma P&ID) :

L'usage d'un évent (aussi appelé filtre de ventilation) sert à prévenir l'intrusion de particules de poussière, de bactéries, de champignons, de levures et autres micro-organismes dans une cuve ou un réacteur [1].



Fig. I.18 – Filtre évent

-Armoire de commande, EP100/EP101/EP102 (voir schéma P&ID) :

Le tableau de commande fonctionne comme un cerveau. Il distribue l'alimentation à une variété d'appareils et de systèmes en réseau pour piloter les moteurs, les commandes et les accessoires de sécurité de l'installation. Il est également conçu pour protéger les équipements électriques contre les surcharges et les courts-circuités. Les armoires de commande sont donc un élément important des installations électriques, garantissant un fonctionnement sûr et efficace de tous les appareils.

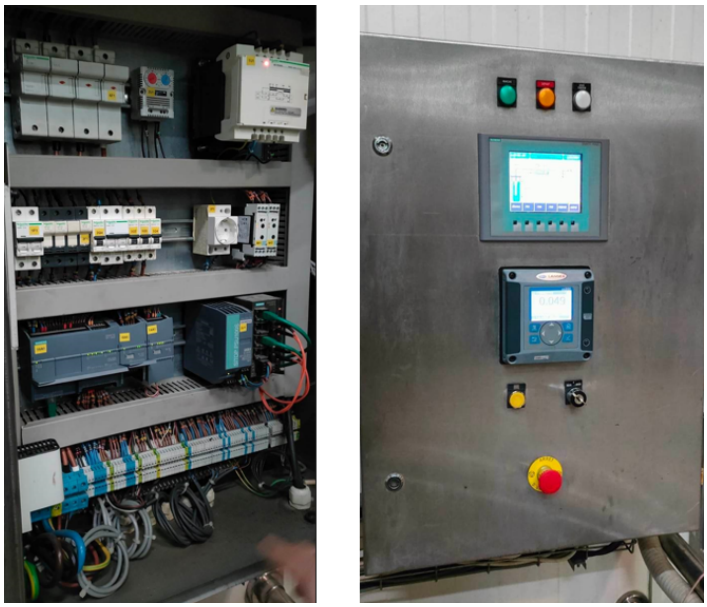


Fig. I.19 – Armoire de commande

Comme il est mentionné déjà, cette armoire contient un switch pour la bascule entre les deux modes aussi un Bouton d'urgence et 4 voyants et aussi une HMI qui permet de faire le contrôle et commande du processus avec un afficheur de turbidité de l'eau qui va être transmet à la ligne de production. Dans la suite on site les différents éléments qui existent dans l'armoire électrique.

D'abord cette armoire est alimentée par un réseau de trois phases mais plusieurs éléments marche qu'avec une seul phase donc ça dépend de l'utilisation.

On commence par :

-Le transformateur de tension :

Ou appelé Transformateur de sécurité et d'isolement son rôle est de distribuer l'électricité dans une installation basse tension tout en assurant une protection contre les surcharges et les courts-circuits.



Fig. I.20 – Le transformateur de tension

Ce module permet de connecter des disjoncteurs miniatures de la gamme Acti 9 afin de protéger les différents circuits électriques de l'installation. En tant que composant clé d'une installation électrique, ce module garantit une alimentation électrique fiable et sécurisée pour les équipements et les systèmes connectés.[2]

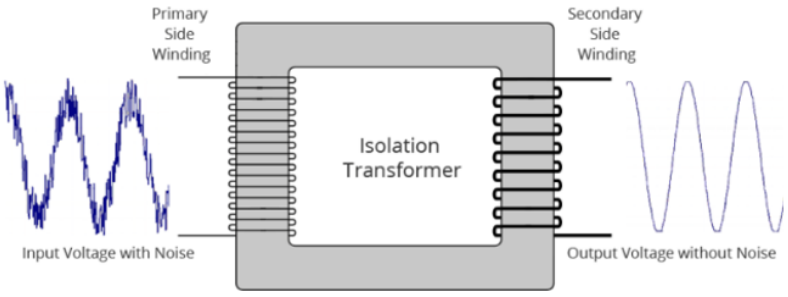


Fig. I.21 – Fonctionnement de ce transformateur de tension

L'utilisation d'un transformateur d'isolement permet de créer une isolation galvanique entre le courant primaire et le courant secondaire. Cela signifie que les deux circuits sont électriquement séparés les uns des autres, ce qui prévient les risques d'électrocution ou de dommages causés par des surtensions. Le transformateur d'isolement est donc un composant clé dans les installations électriques où une isolation électrique est nécessaire pour garantir la sécurité des équipements et des personnes.

-Porte fusible : Ce genre de composants est utilisé pour la protection des éléments d'un système électrique contre les surcharges électriques. Si le courant dépasse un certain seuil, le fusible fond et interrompt le circuit. Le fusible gG. "gGanzbereichs", qui en allemand signifie "gamme complète", ce qui indique que ce type de fusible convient à une gamme complète d'applications, protége contre les surcharges et les courts-circuits mais par contre le fusible aM "amorçage", ce qui indique que ce type de fusible est conçu pour supporter des courants de court-circuit élevés sans amorcer et sans créer des arcs électriques dangereux ,il offre uniquement une protection contre les courts-circuits, il est utilisé pour la protection contre les charges à fort courant de pointe (moteurs,...).[3]



Fig. I.22 – Porte fusible schneider

-Les disjoncteurs :

Un disjoncteur est un appareil électronique qui sert à protéger les circuits électriques en cas de surcharge ou de court-circuit avec une coupure automatique. Il est composé d'un interrupteur électromécanique avec un système de déclenchement thermique ou magnétique. Si le courant électrique qui circule dans le circuit dépasse la capacité maximale du disjoncteur, le système de déclenchement se déclenche pour couper le courant électrique et éviter tout Détérioration du circuit. [2]



Fig. I.23 – Les disjoncteurs schneider

-Alimentation Siemens SITOP PSU100S :

C'est un dispositif qui est capable de fournir une tension de sortie continue de 24 V DC avec une intensité de courant maximale de 4,2 A. L'alimentation SITOP PSU100S de Siemens est équipée d'une protection contre les surcharges et les courts-circuits, ainsi que d'un dispositif de limitation de courant. [4]

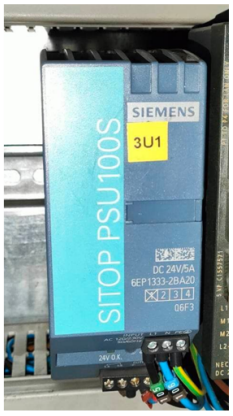


Fig. I.24 – Alimentation Siemens SITOP PSU100S

Tab. I.2 – Caractéristiques du SITOP PSU100S

Type d'Alimentaion	stabilisé
Tension d'entrée	120V et 230V
Intensité nominal	2.5/5/10A
Tension de sortie	24V

-Bornier électrique :

Un bornier est un composant électrique qui permet d'assurer la continuité de l'installation électrique en connectant les câbles provenant des réseaux extérieurs à l'intérieur de l'installation.

Il est équipé de bornes de connexion qui permettent de fixer les câbles de manière sûre et efficace. Il permet également de faciliter les opérations de maintenance et de dépannage en facilitant l'accès aux différents points de connexion.

En somme, le bornier est un élément clé pour garantir une connexion fiable et sécurisée entre l'installation électrique et les réseaux extérieurs.

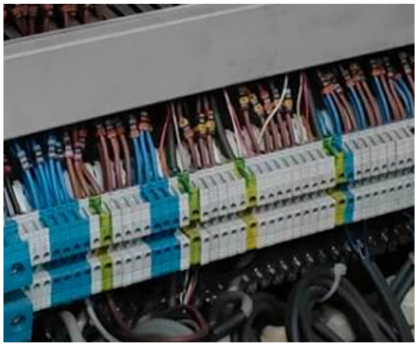


Fig. I.25 – Bornier électrique

-Thermostat et hygrostat :

Le thermostat est un capteur de mesure de la température à l'intérieur de l'armoire électrique et de réguler l'alimentation électrique pour que la température reste à un niveau constant, Si la température dépasse une certaine valeur, un dispositif de refroidissement déclenche, pour maintenir la température dans les limites admissibles et éviter les surchauffes dans l'armoire électrique. L'hygrostat est un capteur d'humidité qui mesure le taux d'humidité et active un dispositif de déshumidification s'il dépasse un seuil spécifique. Cela permet de maintenir le taux d'humidité à un niveau précis et prévenir la corrosion des équipements et composants de l'armoire electrique.[5]



Fig. I.26 – Thermostat et hygrostat

-Relais de niveau :

Un relais de niveau est un dispositif utilisé pour détecter les niveaux d'eau et élaborer un contrôle de niveau, il est équipé d'une sonde ou de capteurs de niveau qui envoient des signaux électriques pour indiquer le niveau de remplissage du réservoir ou du silo.

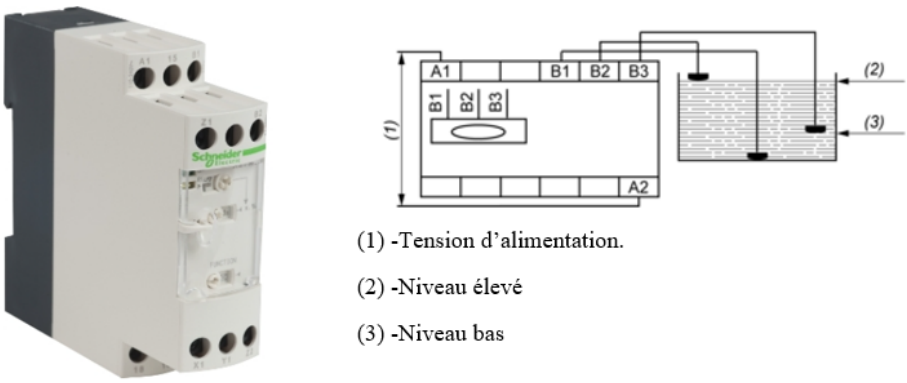


Fig. I.27 – Relais de niveau

-Le commutateur Scalance X104-2 : Ou bien appelé switch Ethernet inclus avec les éléments de le deuxième couche du modèle OSI, il sert à connecter plusieurs élément qui ont des ports profinet, il offre 4 ports Ethernet 10/100 Mbit/s.
Il peut être utilisé dans des environnements industriels difficiles tel qu'il dispose d'un boîtier métallique robuste pour une grande durabilité.



Fig. I.28 – Le commutateur Scalance X104-2

Tab. I.3 – Caractéristiques de commutateur scalance X104-2

plage de température de fonctionnement	de -40°C à +70°C
protection contre les poussières et liquide	IP30
longueur de segment	Maximum 3Km

I.4.3 Une prise d'alimentation

Elle fournit une source de tension électrique pour alimenter des appareils électriques, pour cette armoire est de 220V/50Hz.

I.4.4 Les automates programmables industriels

Un automate programmable industriel (API) est un dispositif d'un type particulier d'ordinateur, robuste ayant des entrées et des sorties physiques. À partir de données d'entrées (capteurs) l'automate programmable industriel élabore un traitement séquentiel puis il émet des signaux de sortie vers les pré-actionneurs pour actionner des autres dispositifs. Ces démarches servent à automatiser un processus industriel comme la commande des machines de montage ou remplissage, le pilotage des systèmes etc….



Fig. I.29 – Automate S7-1200

-Vanne papillon manuelle, VM106-127(voir schéma PID) : Les vannes papillon de la marque KIESELMANN sont une solution économique et compacte pour réguler le flux de produits dans les unités de production. Elles peuvent être installées sur les panneaux de commande et les réservoirs pour une utilisation hygiénique et avantageuse. Ces vannes sont également disponibles en version avec brides et peuvent être raccordées par soudage ou filetage, offrant ainsi de nombreuses options de connexion.

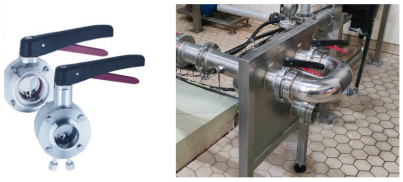


Fig. I.30 – Vanne papillon manuelle

-Vanne manuelle, VM 19-20-21 (voir schéma PID) : De marque GEMU de référence 707 15 D1375 L : Vanne isolement analyseur développé pour permettre un contrôle précis et fiable de l'analyse des liquides dans les processus industriels. Il est utilisé pour réguler le débit de liquide et de gaz devant l'analyseur et pour effectuer l'arrêt du liquide pour la maintenance de l'analyseur.



Fig. I.31 – Vanne manuelle

-Transmetteur de Turbidité NTU 22-23-24 (voir schéma PID) : Le turbidimètre1720E est un instrument fiable et précis qui utilise la méthode EPA 180.1 pour la surveillance de la turbidité à faible portée. Il s'agit d'un turbidimètre néphélométrique à lecture continue avec un système intégré d'élimination des bulles qui peut mesurer des changements subtils de turbidité à de faibles niveaux. Lorsqu'il est connecté à un contrôleur Hach SC, l'instrument peut stocker jusqu'à six mois de données de mesure, de vérifications et d'autres informations

pour un rapport de données complet. La vérification est également simplifiée avec l'option ICE-PIC, qui vérifie rapidement le turbidimètre en moins d'une minute. Ces Exigences de puissance sont 30w avec 230v d'alimentation et une fréquence de 50hz et Jusqu'à cinq sorties sélectionnables pour 0-20 mA ou 4-20 mA [6].



Fig. I.32 – Transmetteur de Turbidité

I.4.4.1 La turbidité

Reflète ainsi l'état d'un liquide troublé par des particules visibles, qui gênent le passage de la lumière, on mesure turbidité de l'eau dans l'industrie pour faire le contrôle de qualité pour que l'eau soit conforme à la norme de qualité et pour qu'il ne cause pas de colmatage des filtres et les canalisations. Aussi on mesure la turbidité pour faire le contrôle d'un processus par ce qu'elle peut affecter la qualité du produit final. Et l'un des avantages de cette mesure qu'on peut économiser l'énergie par ce qu'une eau truble nécessite l'utilisation de plus de produits chimiques et d'une filtration.

-Débitmètre de forage FIT 25-27 (voir schéma P&ID) : Ou bien appelé promag 10 est un débitmètre électromagnétique développé par la marque Endress+Hauser. Sa fonction principale est de mesurer le débit volumique de liquides conducteurs avec une précision et une stabilité à long terme. Il est couramment employé dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et de l'eau pour la mesure du débit. Ce Capteur avec indice de protection IP68. Sa gamme de mesure est de 9 dm3/min à 110 000 m3/h dans une température ambiante de –40 à +60 °C et il généré une sortie de 4-20mA+ et besoin d'une alimentation AC de 20 à 28v ou 85 à 250v.

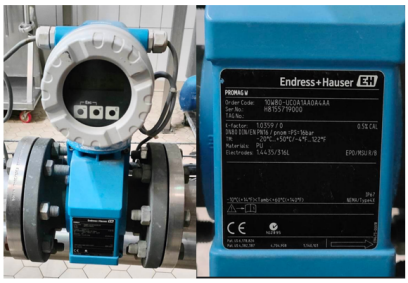


Fig. I.33 – Débitmètre de forage

-Manomètre, PI 128-132 (voir schéma P&ID) : Un manomètre c'est un capteur qui permet la mesure de pression. Dans notre installation on a le Manomètre à cadran 1950 de la marque spirax sarco de diamètre 100 mm avec graduation en bar.

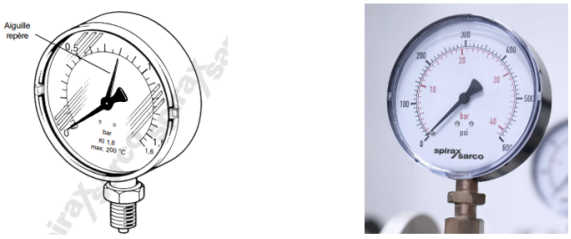


Fig. I.34 – Manomètre

-Transmetteur de Conductivité, CIT 129-133 : C'est est un instrument utilisé pour mesurer la conductivité électrique d'un liquide ou d'une solution elle dépend de la concentration de sels ou d'ions présents dans la solution. Dans notre installation on a une cellule de mesure de conductivité CLS 19 à deux électrodes avec sonde de température Pt 100, elle sert à surveiller les échangeurs d'ions et l'osmose inverse en utilisant une membrane semi-perméable. Cette dernière permet de filtrer les contaminants et de ne laisser passer que l'eau pure. Ça gamme de mesure analogique est : c=0,01 : 0-20 µS/cm c=0,1 : 0-200 µS/cm.



Fig. I.35 – Transmetteur de Conductivité

Dans la production de boissons et de produits alimentaires, la mesure de la conductivité sert à détecter la présence de substances indésirables dans l'eau utilisée. Et aussi pour surveiller et contrôler la concentration de certains produits chimiques dans les solutions.

-Prise d'échantillon GEMÜ, Pe137/138/139 (voir schéma P&ID) : C'est une vanne de la marque GEMÜ utilisée pour prélever des échantillons liquides à des fins d'évaluation dans des procédés hygiéniques et aseptiques sans contaminer l'échantillon ou la source de l'échantillon.



Fig. I.36 – Prise d'échantillon GEMÜ

-Diamètre nominal DN 100 : Il s'agit de la taille nominale de la tuyauterie ou du raccordement, exprimée en millimètres, indiqué à côté des lignes sert à déterminer la taille de la tuyauterie ou du raccordement nécessaire pour un système donné.

-Vanne pneumatique Auto VA : C'est une vanne qui permet de contrôler le débit de liquide ou de gaz dans un système industriel. Elle est équipée d'un actionneur rotatif à commande pneumatique alimenté en air comprimé pour la fermeture et l'ouverture de la vanne en fonction des signaux TOR du système de commande. Elle s'ouvre et se ferme selon un mouvement de rotation de 90 degrés.



Fig. I.37 – Vanne pneumatique Auto

-Capteur de niveau tank (FMX167) handress+hauser (analogique) :

Le waterpilot FMX167 est un capteur qui mesure le niveau d'eau fraîche, d'eaux usées et d'eau salée avec la pression hydrostatique. Il dispose une thermorésistante Pt100 pour la mesure de la température. Donc le capteur transmet un signal de température et un signal de niveau et les deux sont de 4,20 ma. Le liquide de la cuve agir sur la membrane de capteur tel que la valeur de le pression hydrostatique est fonction de la gravité, de la masse volumique et de la hauteur de liquide, la gravité est constante en un point et si on considère le même fluide la masse volumique est également constante pour cela on peut dire que la pression hydrostatique mesuré est proportionnelle au la hauteur du liquide dans la cuve.

$P = \rho \times g \times H$ alors $H = \rho \times g / P$

Tel que :

P : pression du liquide

H :hauteur dans la cuve

ρ :masse volumique du liquide



Fig. I.38 – Capteur de niveau tank (FMX167) handress+hauser

Tab. I.4 – Caractéristiques de FMX167

Température ambiante	de -10°C à +70°C
Surcharge	jusqu'a 40Bar
Signale de Sortie	4..20mA
Écart de mesure	±0.2
Tension d'alimentation	10..30V DC

Si on parle aussi sur l'un des éléments essentiel dans l'unité de forage on trouve le variateur de vitesse danfoss :

-Variateur de vitesse (VLT AQUA Drive FC 202)



Fig. I.39 – VLT AQUA Drive FC 202

C'est un dispositif électronique utilisé pour contrôler la vitesse des moteurs électriques des pompes en faisant varier la fréquence et la tension de l'alimentation électrique fournie. Les VLT de Danfoss sont utilisés dans plusieurs applications industries, telles que la climatisation, le traitement de l'eau et des eaux usées, l'exploitation minière et l'industrie alimentaire et des boissons. Ils sont connus pour leur efficacité élevée, leur fiabilité, ce qui en fait un choix populaire pour le contrôle des moteurs. Pour notre ça on a le VLT AQUA Drive FC 202 qui est conçu pour être utilisé dans des applications de pompage et de ventilation dans les secteurs de l'eau.

Tab. I.5 – Caractéristique du VLT

Plage de puissance	de 0.25kW à 90kW
Plage de tension d'alimentation	de 200V à 600V
Signale de Sortie	4..20mA
L'interface	écran LCD et bouton de commande
Tension d'alimentation	10..30V DC

I.5 Explication du fonctionnement du système de régulation automatique

L'installation est prévue pour fonctionner en mode automatique 24 heures sur 24. Avant le démarrage du système, plusieurs conditions de pré-fonctionnement doivent être remplies, telles que :

- Pas de défaut pompe .
- Arrêt d'urgence non enclenché.
- Présence tension principale 400v+ neutre.

Une fois que l'opérateur a le feu vert pour activer le système de traitement de données, le processus débute. Cependant, cela nécessite d'être détaillé en plusieurs étapes qui seront discutées prochainement.

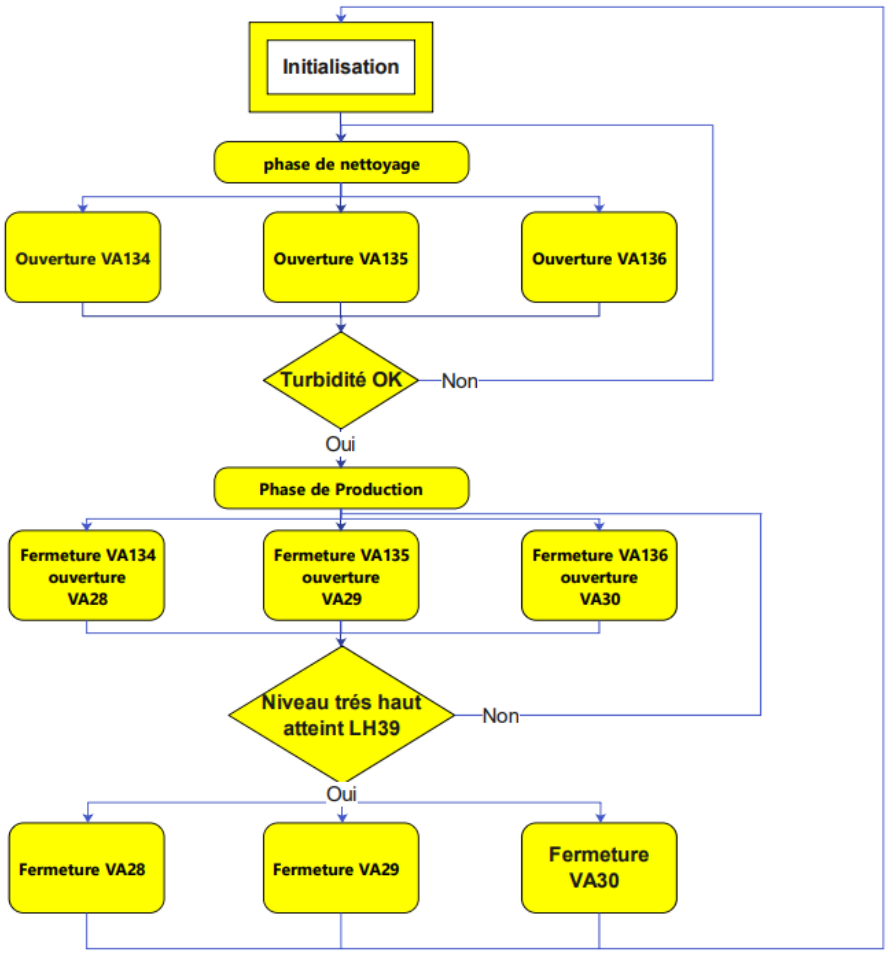


Fig. I.40 – Fonctionnement du système de régulation automatique

I.5.1 Début de processus

Une fois que le système est mis en marche et que les grandeurs physiques ont été mesurées en pré-fonctionnement, le traitement des données débutera. Les étapes suivantes décrivent le fonctionnement du système :

- **Initialisation :** Le système est configuré et préparé pour le traitement des données.
- **Confirmation de la condition de la turbidité :** Les mesures de la turbidité sont vérifiées pour s'assurer qu'elles sont conformes aux critères prédéfinis.
- **Transmission des niveaux vers les forages :** Les niveaux d'eau sont transmis aux forages appropriés pour permettre un contrôle efficace du débit.
- **Ouverture des vannes :** Les vannes sont ouvertes selon les besoins pour réguler le flux d'eau dans le système.
- **Rebouclage de cycle :** Une fois les étapes précédentes effectuées, le système passe en mode de rebouclage pour continuer le traitement des données de manière continue et automatisée.

I.5.2 Au niveau de cuve d'eau brute

Ci-dessous se trouve un schéma illustrant les canalisations depuis les stations de forage jusqu'aux réservoirs d'eau. :

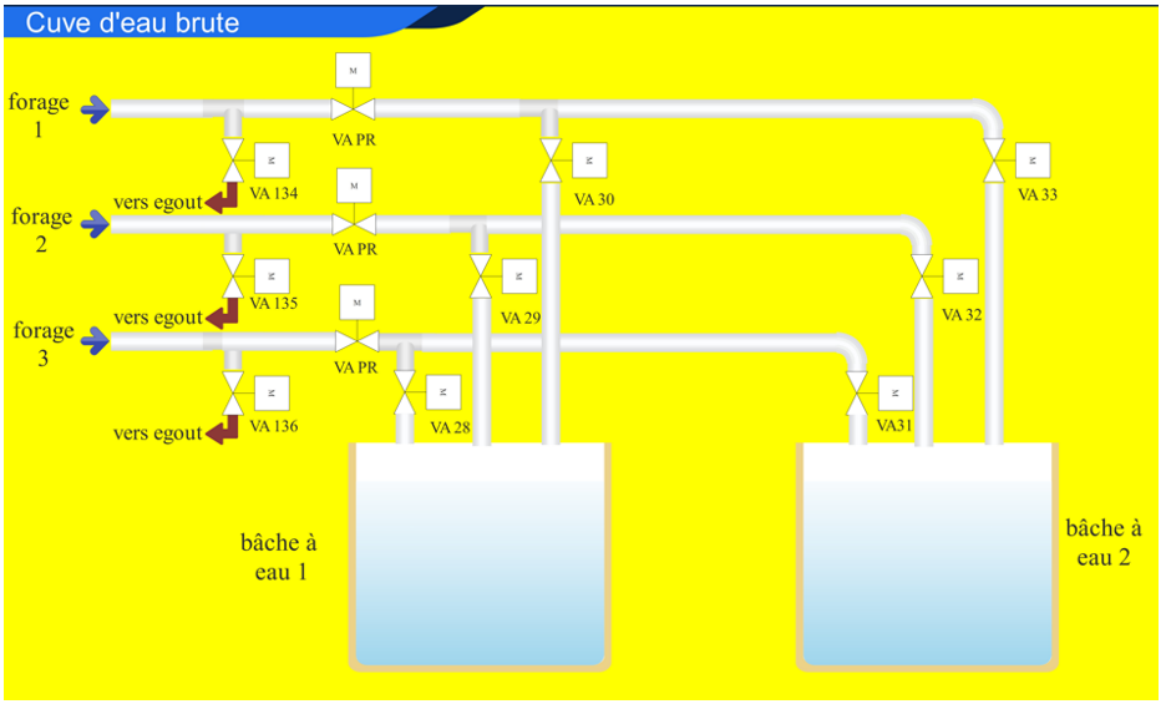


Fig. I.41 – Tuyauterie forage vers bâches à eau

En prenant la valeur du niveau lorsque celle-ci atteindra la moyenne entre L38 et L44, les vannes de retour des égouts seront ouvertes jusqu'à ce que la condition de turbidité soit confirmée inférieure à la valeur de consigne, car elle a la priorité et garantit une eau adaptée à la production. L'ordre d'ouverture de ces vannes est transmis depuis les unités de forage, et l'état des vannes est renvoyé à l'automate de forage pour confirmer leur bon fonctionnement. En cas d'erreur, un message d'alarme s'affiche sur les interfaces hommes-machines pour signaler le problème.

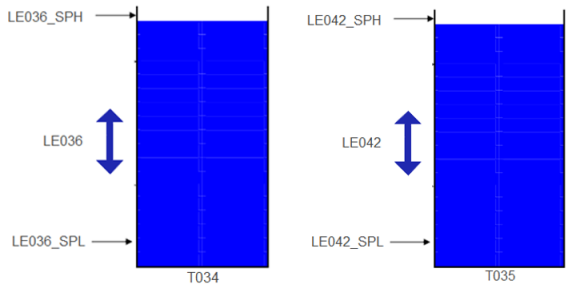


Fig. I.42 – Niveaux et seuils des bâches à eaux

Après, dans la transition ou les vannes VA28, VA29 et VA30 s'ouvre le remplissage de T35 commence, après la vérification de turbidité et niveau moyenne L44, et se referme à l'atteinte du niveau très haut L45. Les informations de LE036 et LE042 sont ramenées dans l'armoire permo via la liaison Ethernet pour la gestion des seuils (niveau bas), qui seront envoyé vers l'unité de forage via le réseau piloter la vitesse de pompes de forage (si variateurs) en fonction du niveau dans les cuves. On aura des alarmes dans le cas où :

- Le niveau bas atteint qui provoque l'arrêt du groupe de reprise.
- Le niveau très Haut comme débordement cuve T034 ou T035 avec Affichage sur l'IHM via Ethernet des valeurs de débit et comptage des FIT025 FIT026 et FIT027

On note que la mesure de turbidité s'effectue d'une façon Autonome par le turbidimètre et envoyé comme signal 4-20mA mais une Alarme lumineuse et sonore s'active en cas de mauvaise analyse ou valeur indésirée. Chaque alarme de mauvaise turbidité (NTU) stoppe le forage concerné et ferme la vanne correspondante.

I.5.3 Solution proposée

La solution proposée est un mode de commande à distance qui permet à l'opérateur de contrôler et superviser les trois stations à distance. Cette approche offre une flexibilité d'accès et de contrôle des processus adaptée aux besoins spécifiques.

Mode automatique : l'unité de forage sera contrôlée par un système local qui surveille la demande en eau en temps réel et ajuste la production pour maintenir un approvisionnement en eau stable et continu. Le système de contrôle surveille également le niveau d'eau du puits de forage, la pression de l'eau, la température et d'autres paramètres pour assurer un fonctionnement optimal.

Mode manuel : l'opérateur peut contrôler l'unité de forage directement depuis le panneau de commande. Cela permet de modifier les paramètres de production en temps réel pour répondre à des besoins spécifiques ou ajuster les performances de la pompe en cas de besoin, et aussi pour effectuer le nettoyage en place (retour NEP).

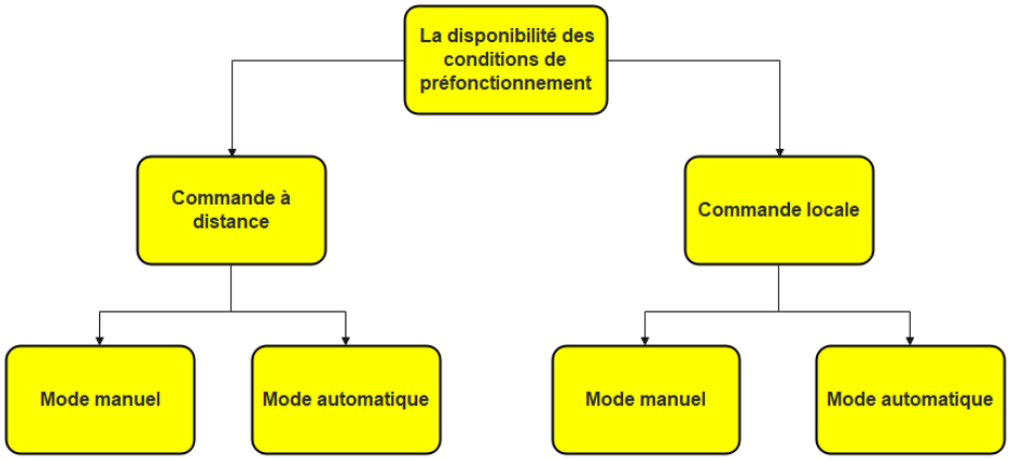


Fig. I.43 – Schéma descriptif de la solution proposée

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord présenté l'entreprise, puis nous avons décrit les différentes stations qui la composent, leur mode de fonctionnement ainsi que les équipements utilisés. Nous avons abordé le processus de fabrication, en passant par la problématique, les objectifs et nous avons conclu par la solution proposée qui sera détaillée dans le chapitre suivant.

Chapitre II

Automatisation et supervision

II.1 L'automatisation

II.1.1 Introduction :

L'automatisation est devenue un aspect essentiel de la vie moderne et il a considérablement amélioré l'efficacité, la productivité et la sécurité dans de nombreuses industries. Les systèmes automatisés peuvent être conçus pour prendre des décisions en temps réel, surveiller et contrôler des processus ou des équipements, ou collecter et analyser des données.

Elle permet également de réduire les coûts de production, d'améliorer la qualité des produits et d'augmenter la fiabilité et la sécurité opérationnelles. Des capteurs, des actionneurs, des ordinateurs et des réseaux de communication sont utilisés dans l'automatisation pour former des systèmes automatisés.

Pour concevoir des systèmes d'automatisation efficaces et fiables, les ingénieurs en automatisation doivent maîtriser les bases de la mécanique, de l'électricité, de l'informatique et des communications.

L'automatisme est un domaine important qui continue d'évoluer rapidement grâce aux avancées technologiques et qui contribue de manière significative à la modernisation de notre monde.

II.1.2 Les objectifs de l'automatisation :

L'automatisation des systèmes de production a été une réponse à l'évolution du contexte industriel et à la compétitivité. Ces systèmes automatisés ont poursuivi deux objectifs principaux : augmenter la productivité du système technique en réduisant les coûts, en améliorant la fiabilité, la disponibilité et la qualité, tout en renforçant la sécurité des opérateurs en les éloignant et en les protégeant du lieu de transformation du produit.

L'automatisation est largement utilisée dans de nombreux domaines, notamment l'industrie manufacturière, la finance, les soins de santé, les transports et la logistique, l'agriculture, l'énergie et bien d'autres encore.

II.1.3 Les avantages et inconvénients de l'automatisation :

Les avantages de l'automatisation des processus sont multiples mais on peut résumer quelques avantages dans les points suivants :

- L'efficacité des machines qui peuvent exécuter des tâches répétitives rapidement et sans erreur, cela réduit le temps de production, améliore la production et minimise les erreurs.
- Elle permet de réduire les coûts de production en réduisant les coûts liés à la main-d'œuvre humaine, tels que les salaires, les avantages sociaux, la formation et les coûts de recrutement.
- Les machines peuvent maintenir un niveau de qualité constant et élevé, ce qui permet d'améliorer la qualité des produits ou services.
- L'automatisation peut réduire les risques pour la sécurité en éliminant les tâches dangereuses pour les travailleurs, telles que la manipulation de produits chimiques dangereux ou la manipulation de machines lourdes.

L'automatisation peut contribuer à améliorer l'efficacité, à réduire les coûts, à améliorer la qualité, à améliorer la sécurité, à augmenter la flexibilité et à réduire l'impact environnemental. En revanche, l'automatisation des processus possède certains inconvénients comme :

- Les coûts initiaux d'installation et de mise en place de systèmes d'automatisation peuvent être élevés, ce qui peut représenter un obstacle pour les petites entreprises.
- L'automatisation peut causer une augmentation du chômage, car les machines peuvent remplacer certains postes autrefois occupés par des travailleurs humains.
- Les compétences pour certains métiers peuvent être perdues car les travailleurs humains n'ont plus besoin de les apprendre. Cela cause une perte de savoir-faire et de connaissances pour certaines industries.

II.1.4 Domaines d'utilisation de l'automatisation :

Aujourd'hui, il est difficile de concevoir un système de production sans avoir recours aux différentes technologies et composants qui forment les systèmes automatisés, à savoir dans les domaines :

- Automobile
- Aviation
- Industrie médicale
- Transport

II.1.5 Structure d'un système automatisé :

- Partie relation (PR)
- Partie commande (PC)
- Partie opérative (PO)



Fig. II.1 – Structure d'un système automatisé

II.1.5.1 Partie relation :

La partie relation ou dialogue qui représente l'échange des informations entre la partie commande et l'opérateur (pilote, usage, surveillant…) dont elle reçoit des consignes en lui donnant des comptes rendus visuels ou sonores.

II.1.5.2 Partie commande :

C'est le centre de décision d'un système automatisé et responsable de contrôler et de réguler le comportement du système. Elle consiste un ensemble de composants électroniques et de logiciels qui permettent de traiter les informations provenant du programme et des capteurs du système et de prendre des décisions en conséquence pour activer les actionneurs.

II.1.5.3 Partie opérative :

La partie opérative d'un système automatisé est la partie qui effectue les tâches physiques ou matérielles du système. Elle est composée de tous les éléments matériels (machines, robots, actionneurs, capteurs, etc.) qui permettent la réalisation de l'automatisation.

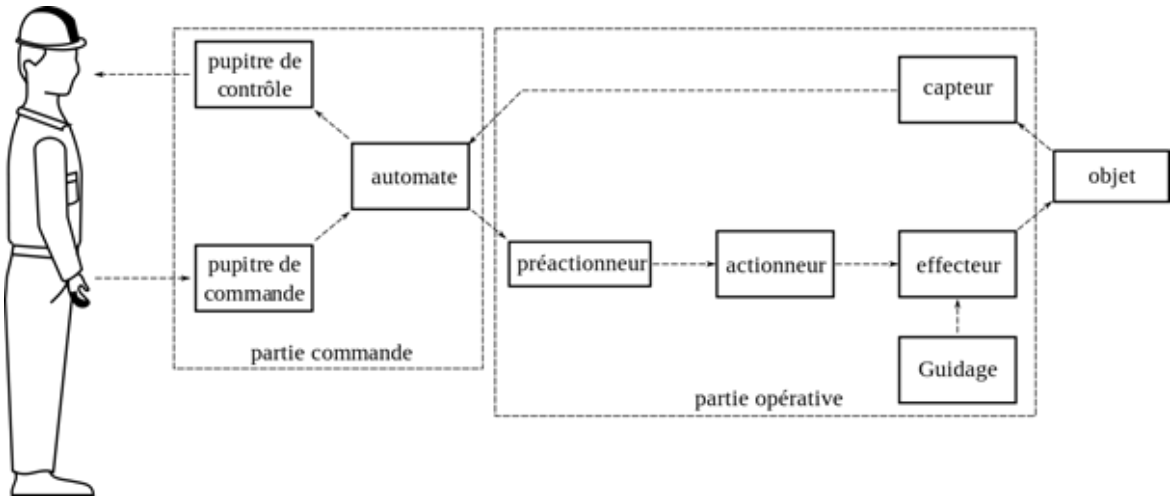


Fig. II.2 – Un schéma d'un système automatisé

II.2 Les automates programmables

II.2.1 Historique

Les automates programmables **(API)**, sont apparus aux USA vers les années 1969, à l'époque ils étaient destinés essentiellement à automatiser les chaînes de montages automobiles. Ils sont apparus en France en 1971, ils sont de plus en plus employés dans l'industrie [7].

II.2.2 Définition des API

Un automate programmable un élément indispensable dans ce domaine d'automatisation, c'est un appareil dédié au contrôle d'une machine ou d'un processus industriel, constitué de composants électroniques, comportant une mémoire programmable par un utilisateur non informaticien, à l'aide d'un langage adapté.

En d'autres termes, un automate programmable est un calculateur logique, ou ordinateur, au jeu d'instructions volontairement réduit, destiné à la conduite et la surveillance en temps réel de processus industriels.

II.2.3 Types des API

II.2.3.1 Design compact

Ces API se composent d'une unité centrale, d'une alimentation électrique, d'entrées et de sorties regroupées dans un boitier (rack). Selon le fabricant et le modèle, ils peuvent prendre en charge des fonctions supplémentaires telles que le comptage ou l'entrée/sortie analogique, et peuvent être étendus dans une mesure limitée. Ils sont fréquemment utilisés pour surveiller des processus automatisés à petite échelle [8].



Fig. II.3 – API de type compact

II.2.3.2 Design modulaire

L'automate de type modulaire contient un boîtier, un module d'alimentation, une unité centrale, des modules d'entrées/sorties, des modules de communication et de comptage. Cette organisation modulaire permet une grande souplesse de configuration en fonction des besoins de l'utilisateur, ainsi qu'un diagnostic et une maintenance aisés. Il est conçu pour des applications d'automatisation complexes où la puissance, la capacité de traitement et la flexibilité sont requises [8].



Fig. II.4 – API de type modulaire

II.2.4 Structure d'un API

La structure matérielle d'un API se compose de quatre parties principales :

1- **Processeur** :
D'une part, son rôle est d'organiser les différentes relations entre les zones mémoire et les interfaces d'entrée et de sortie, et d'autre part, il est de gérer les instructions du programme [9].

2- **Interfaces d'Entrées/Sorties :**
Elles assurent l'échange d'information entre CPU et le processus, en récupérant les informations sur l'état de ce dernier et en coordonnant les actions.

- **E/S discrètes (numérique) :** Le type d'E/S API le plus courant est l'E/S discrète. Les E/S discrètes sont parfois appelées E/S numériques. Le concept est simple : les E/S discrètes sont des signaux qui sont soit activés, soit désactivés. Les conceptions de systèmes typiques utilisent 5 V, 12 V ou 24 VDC parce que l'API en général peut interfacer n'importe quel signal de tension continue entre 3 et 30 VDC. Toute connexion à la masse (ou tension inférieure à 1,5 VCC) ou connexion ouverte est détectée comme "0" et toute affiliation à une tension continue entre 1,5 et 30 VCC est détectée comme "1". Pour les entrées numériques qui sont des signaux AC, les ports peuvent être connectés à des modules de borniers d'entrée Velocio Optocoupled qui convertissent les signaux AC en niveaux DC adéquats.

- **E/S analogiques :** Les E/S analogiques se rapportent à des signaux dont la plage de valeurs est bien supérieure à 1 ou 0. Par exemple, un signal analogique peut produire une tension comprise entre 0 et 10 VCC. Le signal peut être de 2 V, 3 V, 8,5 V, etc. En ce qui concerne les API, les modules d'entrée analogique ont pour rôle de mesurer les entrées de ce type selon l'un des formats suivants. : -10 à 10 VCC/ 0 à 10 VCC/ 1 à 5 VCC/ 0 à 1 mA ou 4 à 20 mA. Fondamentalement, le module d'entrée analogique mesure soit la tension, soit le courant de l'appareil d'entrée. Il existe d'autres types de signaux analogiques, mais ce sont les plus courants. De même, le module de sortie analogique peut fournir des signaux de tension ou de courant dans l'une des plages mentionnées précédemment.

3- **Mémoire :**
La mémoire de programme et de données d'un automate est contenue dans la RAM. Ce type de mémoire peut être volatile ou non volatile, et elle peut être (et sera) souvent écrasée. Le programme lui-même se trouve dans une zone de la RAM et doit être conservé en mémoire même lorsque l'automate est éteint. La mémoire de l'API comprend le système d'exploitation et le micro-programme du processeur et des modules, ainsi que le programme et les données utilisés par le programmeur. La partie RAM de la mémoire d'un automate peut être divisée en deux zones générales : mémoire de programme et mémoire de données [9].

- **La mémoire de programme :**est constituée de l'ensemble des listes d'instructions et du code de programme. C'est ce qui est envoyé au processeur. L'envoi des instructions du programme à l'automate est appelé "téléchargement" sur la plupart des marques d'automates.
- **La mémoire de données :**comprend les tableaux d'images d'entrée et de sortie ainsi que les données numériques et booléennes. La plupart des données utilisées dans le programme de l'automate sont en mémoire interne et ne sont pas directement liées aux E/S.

4- **Alimentation (240 Vac, 24Vcc) :**Tous les automates actuels sont équipés d'une alimentation 240 V 50/60 Hz, 24 V DC. Les entrées sont en 24 V DC et une mise à la terre doit également être prévue.

Ces modules sont placés sur un rack qui assure leur connexion et synchronisation :



Fig. II.5 – Rack

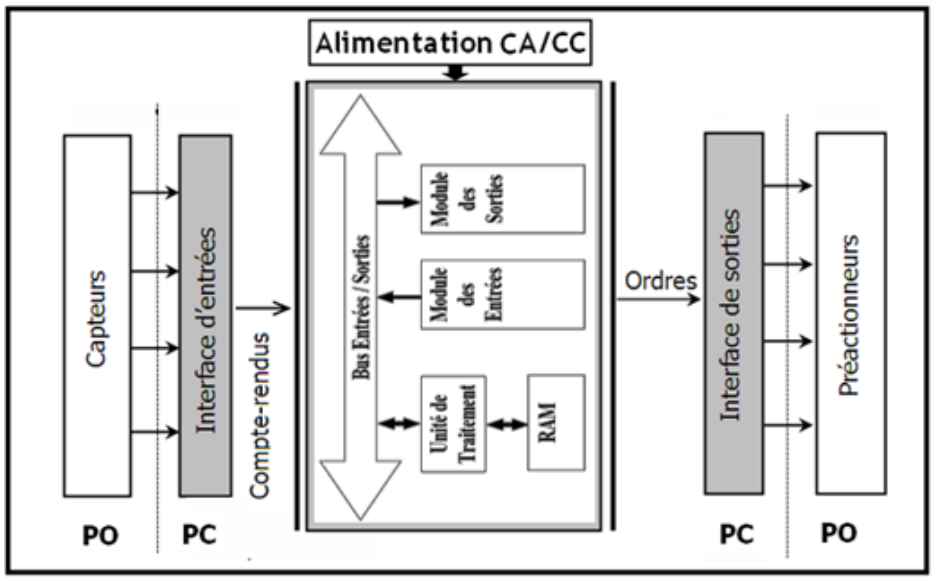


Fig. II.6 – Architecture interne d'un API

II.2.5 Principe de fonctionnement des API

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire :

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

Ces quatre opérations sont effectuées continuellement par l'automate (fonctionnement cyclique).

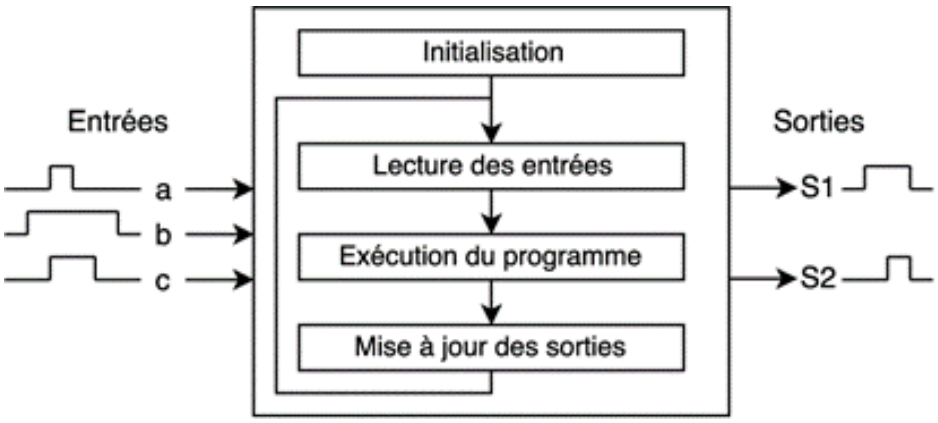


Fig. II.7 – Un cycle de fonctionnement d'un API

II.2.6 Les langages de programmation utilisés par les API

La norme IEC 1131-3 établit cinq langages pour la programmation des automates industriels. Ces cinq langages sont les suivants :

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

Le langage à relais (Ladder Diagram) est basé sur un symbolisme très proche de celui utilisé pour les schémas de câblage des systèmes à relais. Les symboles les plus utilisés sont donnés la figure suivant [10] :



Fig. II.8 – Symboles les plus fréquents du ladder

2-Sequential Function Chart (SFC) : Sequential Function ou GRAFCET, est un langage graphique utilisé pour décrire les opérations séquentielles. Le procédé est représenté comme une suite connue d'étapes (états stables), reliées entre elles par des transitions, une condition booléenne est attachée à chaque transition. Les actions dans les étapes sont décrites avec les langages ST, IL, LD ou FBD [10].

3-Function Block Diagram (FBD) : Le FBD est basé sur le principe de la programmation fonctionnelle, où les blocs fonctionnels sont interconnectés pour créer un système global. Les blocs fonctionnels peuvent effectuer des opérations telles que la logique booléenne, les calculs mathématiques, les opérations de temporisation et les conversions de données [10].

4-Instruction List (IL) : Le langage IL, est un langage textuel de bas niveau. Il est particulièrement adapté aux applications de petite taille. Les instructions opèrent toujours sur un résultat courant (ou registre IL). L'opérateur indique le type d'opération à effectuer entre le résultat courant et l'opérande. Le résultat de l'opération est stocké à son tour dans le résultat courant [10].

5-Structured Text (ST) : Le langage ST (Structured Text) est un langage textuel de haut niveau dédié aux applications d'automatisation. Ce langage est principalement utilisé pour décrire les procédures complexes, difficilement modélisables avec les langages graphiques. C'est le langage par défaut pour la programmation des actions dans les étapes et des conditions associées aux transitions du langage SFC [10].

II.2.7 Les différentes gammes des API

Sur le marché actuel des contrôleurs logiques programmables (PLC), il existe plusieurs marques, chacune avec des modèles dans différentes gammes de puissance.
Parmi les marques d'automates les plus utilisées, nous avons : Siemens, Allen Bradley, Schneider, Mitsubishi, Siemens est la marque d'API utilisée dans l'usine.
Siemens qui nous offrent une la gamme SIMATIC S7 et on distingue cinq grandes familles d'automates programmables industriels :
SIMATIC S7-200 / SIMATIC S7-300 / SIMATIC S7-400 / SIMATIC S7-1200 / SIMATIC S7-1500 .

II.2.8 Choix d'API

La sélection d'un automate pour une application particulière dépend de plusieurs critères tels que le coût, la facilité d'utilisation, la fonctionnalité, etc. Nous verrons quelques-uns des facteurs à prendre en compte lors du choix d'un automate programmable ci-dessus :

- Les besoins (Toute application industrielle a des exigences spécifiques).
- Considérez le cycle de vie du produit.
- Nombres d'entrées/sorties dans le projet.
- Capacité de la mémoire.
- Qualité technique impeccable.
- Le prix.

II.2.9 SIMATIC S7-1200

Avec le contrôleur PROFINET IO SIMATIC S7-1200, Siemens propose une solution d'automatisation efficace et de haute précision pour les tâches de commande complexes.

Le SIMATIC S7-1200 se caractérise par sa conception modulaire et flexible et se distingue par une interface PROFINET intégrée pour la programmation et la connexion IHM, ainsi que la communication avec d'autres appareils. La communication avec d'autres appareils d'autres fournisseurs est possible via un protocole Ethernet ouvert. Grâce à sa conception modulaire, la gamme de produits SIMATIC S7-1200 convient à de nombreux usages et à diverses applications [8].

Le CPU fournit un port PROFINET permettant de communiquer par le biais d'un réseau PROFINET. Des modules supplémentaires sont disponibles pour communiquer via les Réseaux PROFIBUS, GPRS, RS485 ou RS232.

Le S7-1200 est programmé en l'aide du logiciel TIAPORTAL sous Windows.



Fig. II.9 – Les modules de l'S7-1200

II.2.10 SIMATIC S7-300

Le S7-300 est un automate conçu pour les solutions de fabrication, qui agit comme une plate-forme d'automatisation universelle pour les applications avec des architectures centralisées ou décentralisées.

Le S7-300 propose 24 CPU standard, sécurité et technologique avec interface Ethernet/-PROFINET intégrée, ainsi qu'une large gamme de modules E/S TOR et analogiques pour signal et diagnostic. Montage simple et densité d'implantation élevée avec modules modulo 32 économisent de l'espace dans les armoires électriques [8].

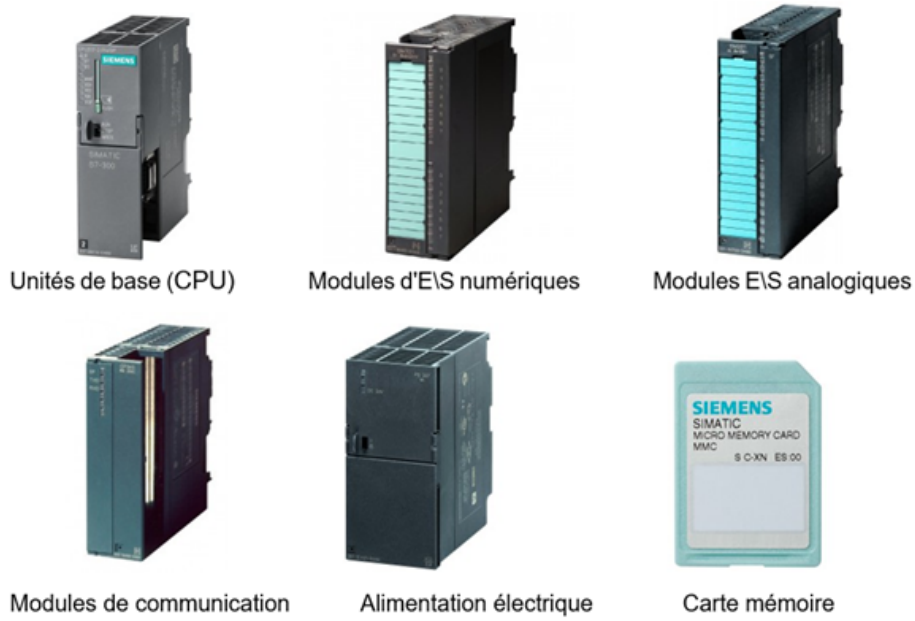


Fig. II.10 – Les modules de l'S7-300

II.3 La supervision

II.3.1 Définition et objectif :

La supervision industrielle est un système qui offre la surveillance et le contrôle des processus de production industrielle en temps réel en assemblant des informations capter par les différents moyens de mesure (les capteurs). Ces données collectées seront visualisées sur des écrans pour les opérateurs, après avoir passé par un traitement.

Les systèmes de supervision reposent souvent sur des logiciels distincts, tels que les systèmes SCADA. Ces derniers peuvent être intégrés à divers équipements et instruments de mesure pour récolter des données en temps réel.

La supervision industrielle vise à optimiser les performances opérationnelles, la conformité aux normes de qualité et improuvant la sécurité des processus industriels en établissant une supervision et une surveillance en temps réel. Cela permet d'identifier et de remédier promptement aux écarts et aux défaillances lors de leur survenue.

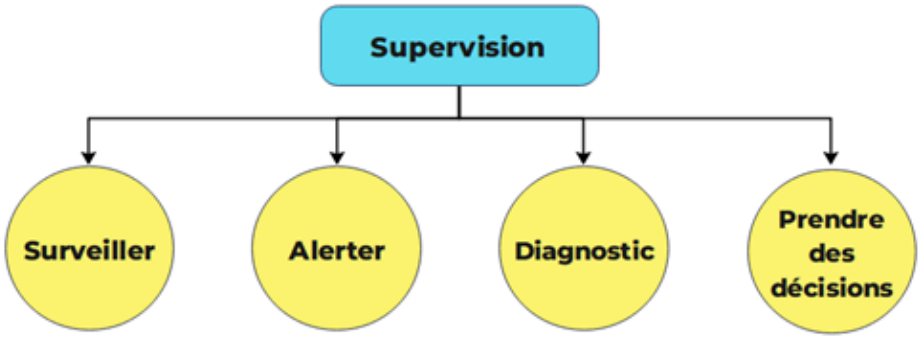


Fig. II.11 – Tâches de la supervision

II.3.2 Domaine d'application :

Les domaines d'application de la supervision industrielle sont nombreux et variés, voici quelques exemples :

Le pilotage de grandes installations industrielles automatisées :

- Métallurgie (laminoir) production pétrolière (distillation).
- Production et stockage agro-alimentaire.
- Production manufacturière.

Le pilotage d'installations réparties :

- Alimentation en eau potable,
- Traitement des eaux usées,
- Gestion des flux hydrauliques.
- Gestion de tunnels.

La gestion technique de bâtiments et gestion technique centralisée (GTC) :

- Gestion des moyens de chauffage et d'éclairage (économies d'énergie)
- Gestion des alarmes incendies
- Contrôle d'accès, gestion des alarmes intrusion

II.4 Système SCADA :

II.4.1 Définition

SCADA est l'abréviation de « Supervisory Control And Data Acquisition » (système de contrôle et d'acquisition de données) a été présenté dans les années 60 à la Bonneville Power Administration et a été publié pour la première fois lors d'une conférence PICA sur les « Applications informatiques de l'industrie de l'énergie » [11].

SCADA est un système de surveillance capable de gérer de grandes quantités de données de mesure en temps réel. Et aujourd'hui il est maintenu par la plupart des industries moderne pour la surveillance et le contrôle des processus dans les réseaux électriques, l'industrie pétrolière, la médecine, la métallurgie, l'industrie chimique, les transports et d'autres industries.

Grâce à un assemblage synchronisé de plusieurs composants informatiques (matériels et logiciel) destinés à fonctionner ensemble en utilisant des protocoles de communication standardisés, SCADA peut contrôler automatiquement le site industriel en collectant à distance de données en temps réel, surveiller de manière exhaustive la mise en œuvre de la production et fournir les données nécessaires à la gestion de la production industrielle [12].

II.4.2 Architecture d'un système SCADA

Le système SCADA collecte les données provenant de l'installation et les présente sur une interface graphique conviviale, utilisant un langage proche du langage humain. Ces actions sont effectuées en temps réel, ce qui permet aux opérateurs de disposer d'un maximum d'informations pour prendre des décisions éclairées. Pour cela ce système est composé de [13] :

- Une partie software
- Une partie hardware
- Une Interface Homme/Machine (IHM)

II.4.2.1 Partie software

La partie « software » d'un système SCADA est programmé pour surveiller le système et signaler quand les valeurs des paramètres en temps réel dépassent les limites des seuils acceptables et comment procéder quand ces seuils sont dépassés. C'est une solution utile qui consiste à analyser le type de données requis pour chaque tâche, pour structurer le système de manière adéquate. Une approche client-serveur permet également à un système d'être plus efficace. On peut distinguer cinq tâches dans un système SCADA. Chaque tâche effectue son propre traitement séparément [14], [15].

- **Tâches d'entrée-sortie :** c'est une interface entre le système de commande et de surveillance et la zone où se situent les installations et les équipements d'usine.
- **Tâches d'alarme :** Les systèmes de gestion des alarmes traitent toutes les alarmes en identifiant les points d'alarme numériques et en évaluant les valeurs des points d'alarme analogiques par rapport à des seuils d'alarme. Tâches des tendances : ils collectent les données pour la surveillance en temps réel.

- **Tâches des rapports :** les rapports sont produits à partir des données de l'installation. Les rapports peuvent être générés de manière régulière ou les événements peuvent être activés par l'opérateur.
- **Tâches d'affichage :** Assurent la gestion de toutes les données surveillées et exécutent toutes les actions de contrôle requises par l'opérateur.

II.4.2.2 Partie Hardware

La partie matérielle d'un système SCADA se compose d'une station centrale de surveillance, des instrumentations de terrain (capteurs, actionneurs), des stations distantes et des réseaux de communication.

La station de surveillance centrale est une interface dédiée au contrôle et à la surveillance. Elle est équipée d'un nombre important d'ordinateurs, et connue sous le nom de station maître MTU (”Master Terminal Unit”), qui joue le rôle de maître dans un système SCADA stockant et traitant les données en provenance des stations à distance. Elle permet également aux opérateurs d'effectuer des tâches de contrôle à distance [16].

La station distante est mise en place dans l'usine avec un équipement distant qui est supervisé et commandé par les ordinateurs de la station centrale. Ceci peut inclure plusieurs unités terminales distantes nommées des contrôleurs logiques programmables (PLC), ainsi que des appareils électroniques intelligents nommés IDE (Intelligent Electronic Devices) [17].

II.4.2.3 Une Interface Homme/Machine (IHM)

La communication entre l'homme et la machine s'appelle l'interface homme-machine (HMI), qui se compose d'une partie logicielle et d'une autre partie matérielle, qui permet à l'opérateur de visualiser et les ”alarmes” d'avertissement d'erreur, de surveiller l'état du processus contrôlé, de s'adapter les objectifs de contrôle et interrompre les opérations de contrôle automatique en cas de situation d'urgence [13].

L'IHM fournit aux opérateurs une visualisation en temps réel du processus de production, à l'aide d'une représentation graphique facile qui décrit ce dernier d'une manière compréhensible avec un simple coup d'œil et en utilisant des indications qui attirent l'attention des opérateurs en cas d'urgence, au cas de défaillance par exemple en utilisent un changement de couleur, clignotement, un signal sonore ou une voix digitalisée. Donc on aura une distinction visuelle nette entre le fonctionnement normal et anormal d'une vague d'information [18].

II.4.3 Les éléments principaux d'un système SCADA

- Réseaux de communications.
- Une base de données.
- Serveur SCADA.
- Élément de traitement de l'information (PLC, …).
- Une interface IHM.
- Logiciel de supervision (**TIA PORTAL**, …).
- Les dispositifs physiques de mesures tels que les capteurs et les actionneurs.

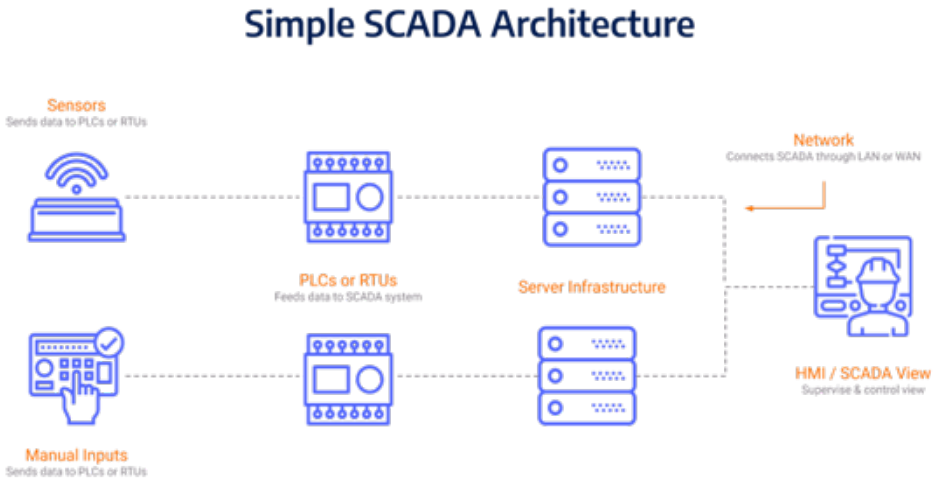


Fig. II.12 – Architecture d'un système SCADA

II.4.4 Les générations de système SCADA

En suivant l'évolution technologique dans les industries, l'architecture de ce système est passée par quatre phases ou générations :

- Première génération : système SCADA monolithique.
- Deuxième génération : système SCADA distribué.
- Troisième génération : système SCADA en réseaux.
- Quatrième génération : les systèmes SCADA 4.0 (internet des objets).

II.4.4.1 Système SCADA monolithique

Durant cette ère de systèmes SCADA, on fait appel à des ordinateurs de petite taille pour effectuer les calculs. Dans variante de systèmes SCADA, toutes les stations distantes se connectent à un système central de secours afin d'assurer la redondance du système SCADA de première génération, en cas de panne du système central principal [19].

À l'époque de cette génération des systèmes SCADA monolithiques ont été développés dans lesquels les services de réseau communs n'étaient pas disponibles. Par conséquent, ce sont des systèmes indépendants sans aucune connectivité à d'autres systèmes.

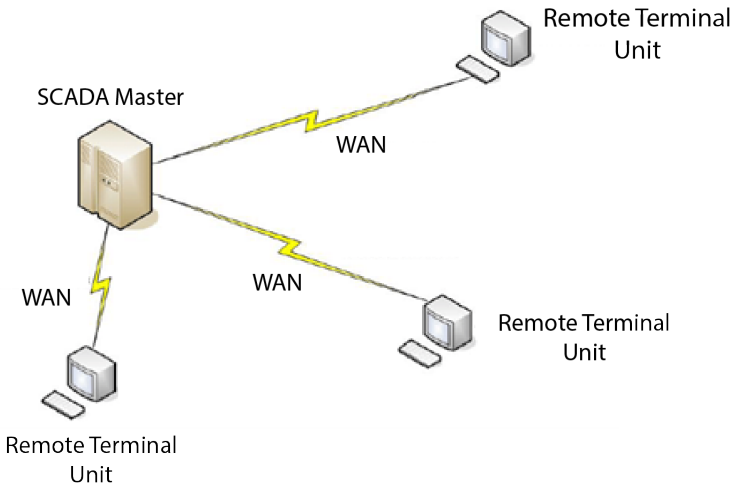


Fig. II.13 – Système SCADA monolithique

II.4.4.2 Système SCADA distribué

Dans cette deuxième ère les systèmes SCADA sont appelés des systèmes distribués car ils partagent généralement les fonctions de contrôle entre plusieurs ordinateurs connectés par un réseau local (LAN). À l'aide d'un réseau local, ces stations distinctes partagent des informations en temps réel et effectuent souvent de petites tâches de surveillance en plus d'alerter les opérateurs des problèmes éventuels ou de déclencher des niveaux d'alarme [19].

Contrairement aux systèmes de première génération qui utilisaient le basculement, l'architecture distribuée maintient tous les sites en ligne à tout moment. Ainsi, si une station IHM tombe en panne, une autre station peut prendre immédiatement le relais sans basculer le système principal.

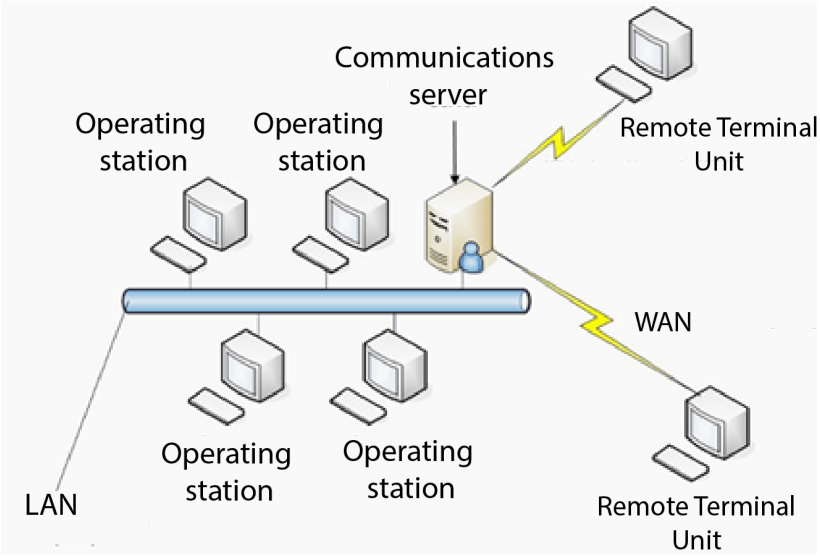


Fig. II.14 – Système SCADA distribué

II.4.4.3 Système SCADA en réseaux

Actuellement la majorité des industries utilisent les systèmes SCADA mis en réseau. Ils communiquent sur des systèmes de réseau étendu (WAN), des lignes téléphoniques ou de données, et transmettent généralement des données entre les nœuds via des connexions Ethernet ou à fibre optique. Les systèmes SCADA en réseau utilisent largement les contrôleurs logiques programmables (PLC ou API) pour surveiller et effectuer des ajustements de processus de routine, signalant aux opérateurs lorsque des décisions importantes sont nécessaires [20].

Contrairement aux systèmes SCADA plus anciens qui utilisaient principalement des logiciels propriétaires et parfois du matériel, les systèmes actuels sont souvent basés sur des logiciels plus généraux. Comme l'API et d'autres fournisseurs de sous-unités ont normalisé les communications et les protocoles, le matériel devient plus interchangeable, permettant aux utilisateurs de choisir les composants qui répondent le mieux à leurs besoins, plutôt que d'être enfermés dans la gamme de produits d'un fournisseur spécifique [19].

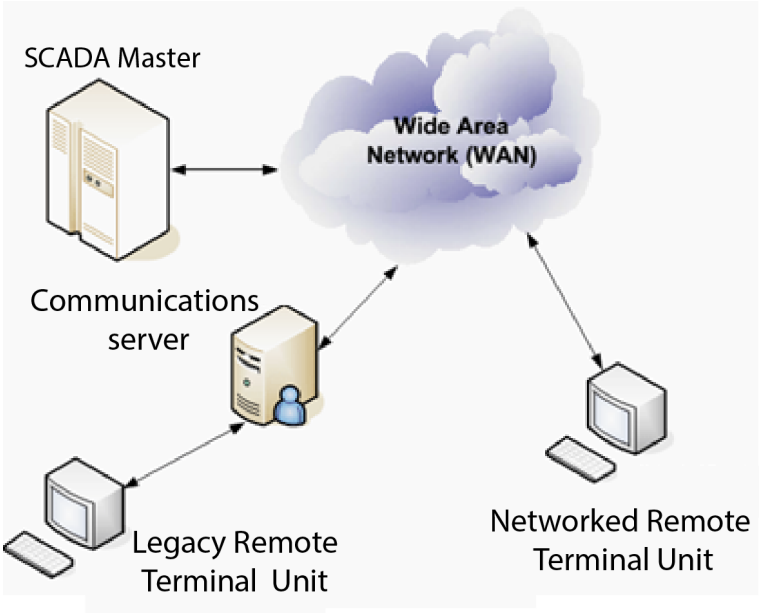


Fig. II.15 – Système SCADA en réseaux

II.4.4.4 Les systèmes SCADA 4.0 IOT

L'apparition des systèmes SCADA de la 4eme génération entraînant une réduction spectaculaire des coûts d'infrastructure grâce à l'adoption de la technologie IoT et du cloud computing (Cloud Computing).

Grâce aux dernières avancées technologiques dans les systèmes SCADA, l'intégration et la maintenance du système sont désormais plus faciles que les systèmes précédents. Ces avancées incluent la possibilité de générer des rapports d'état en temps réel, d'utiliser des algorithmes de contrôle plus complexes et de renforcer la sécurité des informations sensibles dans les grandes entreprises. De plus, ces systèmes peuvent être implémentés sur les automates actuels [19].

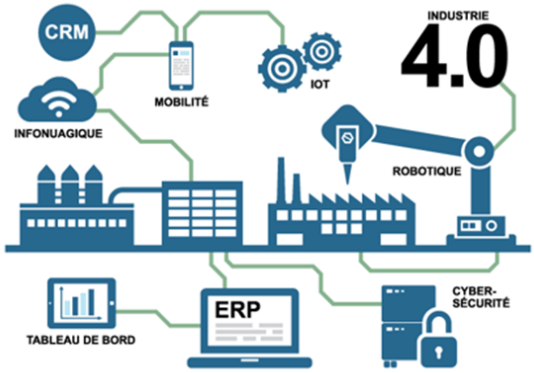


Fig. II.16 – Les systèmes SCADA 4.0 IOT

II.5 Concept CIM (”Computer Integrated Manufacturing”)

CIM (”Computer Integrated Manufacturing”) est un concept qui englobe la réalisation de l’automatisation intégrale des processus de fabrication. Cela implique que tous les équipements de l’usine opèrent sous le contrôle absolu des ordinateurs, des automates programmables industriels et d’autres systèmes numériques.

En effet le système SCADA est situé dans le deuxième niveau du pyramide CIM (Computerized Integrated Manufacturing). Cela confirme qu’il est responsable de la supervision, du contrôle et de l’acquisition de données des équipements de production dans une usine automatisée, permettant ainsi une intégration informatique complète entre les différents niveaux de production.

II.5.1 Pyramide CIM

C’est une représentation graphique des niveaux hiérarchiques dans un système de fabrication automatisé, la figure ci-dessus illustre les différents niveaux du cette pyramide :

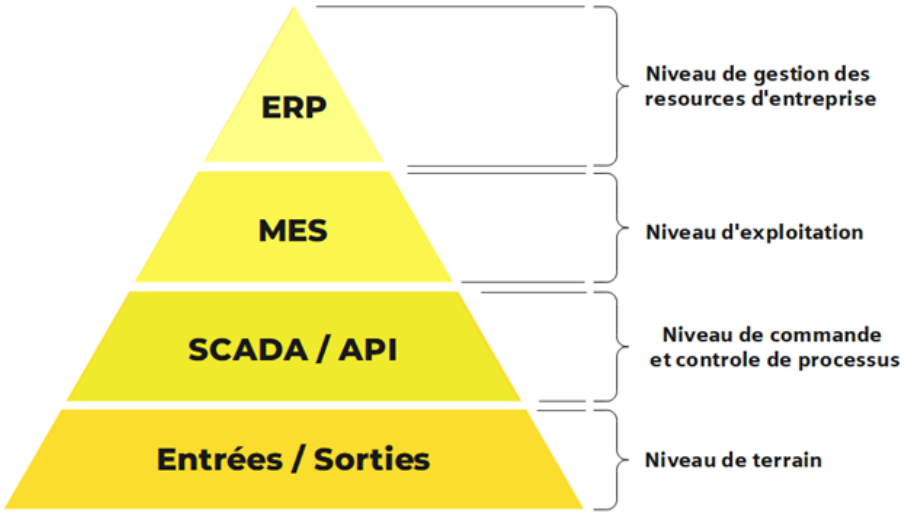


Fig. II.17 – Pyramide CIM

Description de chaque niveau :

Niveau terrain (niveau 0) : dans cette couche on trouve les éléments physiques tels que les capteurs et les actionneurs qui collectent des données sur les processus de fabrication.

Niveau de contrôle et commande (niveau 1) : Ce niveau est responsable de la coordination des activités du niveau de terrain. Il se compose d'un automate logique programmable (API) et d'un système de contrôle de supervision industriel (SCADA) pour surveiller et contrôler le processus de production.

Niveau d'exploitation (niveau 2) : Cette couche est responsable de la coordination des activités des différentes unités de production de l'usine. Il consiste en un système de gestion de la production (MES : Manufacturing Execution System) chargé de collecter les données des systèmes de contrôle de niveau 1 et de donner des informations en temps réel sur l'état de la production.

Niveau de gestion (niveau 3) Ce niveau est le plus haut de la pyramide, Il est responsable de la coordination des activités de production à l'échelle de l'entreprise. Il est composé de systèmes de planification des ressources de l'entreprise (ERP : Entreprise Resources Planning) qui intègrent les données de production à d'autres processus commerciaux tels que la gestion des stocks et la gestion des finances.

II.6 Partie communication

II.6.1 Introduction

Les bus de terrain sont des systèmes de communication utilisés dans le domaine de l'automatisation industrielle pour connecter et échanger des données entre différents dispositifs et équipements. Ils offrent une solution efficace pour interconnecter les capteurs, les actionneurs, les automates programmables et d'autres composants d'un système automatisé. Ils sont basés sur des protocoles de communication spécifiques, tels que PROFIBUS, DeviceNet, Modbus, CANopen, EtherCAT et PROFINET, qui fournissent des fonctionnalités avancées et des capacités de contrôle étendues [21].

Ces protocoles de bus de terrain sont conçus pour répondre aux exigences des environnements industriels, offrant une communication en temps réel, une synchronisation précise, une gestion des erreurs robuste et une intégration transparente des différents périphériques. Les bus de terrain permettent une transmission de données fiable et rapide, en utilisant des formats de données optimisés tels que les trames, les paquets ou les messages cycliques.

Ils facilitent la mise en réseau des capteurs, des actionneurs, des automates programmables (PLC) et d'autres équipements, réduisant ainsi la complexité du câblage et permettant une configuration flexible du système. Ils permettent également une surveillance et un contrôle centralisés, avec des fonctionnalités de diagnostic avancées, la détection automatique des périphériques et la possibilité de superviser les performances du réseau.

II.7 Modèle OSI

Le modèle OSI, ou Open Systems Interconnection, est une norme développée par l'organisation internationale de normalisation (ISO) en 1984. Son objectif principal est de normaliser la communication entre les systèmes de communication en utilisant des protocoles standardisés [22], [23].

Ce modèle de référence fournit une structure détaillée pour interconnecter les services et les protocoles afin de permettre une communication efficace et cohérente. Il vise à décrire toutes les formes de communication réseau, en décomposant le processus global en sept couches distinctes [22], [23].

En utilisant le modèle OSI, il est possible de concevoir et de mettre en œuvre des systèmes de communication qui sont inter-opérables et compatibles, indépendamment de la technologie ou des protocoles spécifiques utilisés. Cela facilite l'interopérabilité entre les différents équipements et les différents réseaux [22] ,[23].

En résumé, le modèle OSI est un outil essentiel pour comprendre et concevoir des systèmes de communication, en fournissant une structure hiérarchique et normalisée pour l'interconnexion des services et des protocoles. Il permet une communication réseau efficace et facilite l'interopérabilité entre les systèmes. Le modèle OSI se compose de sept couches qui sont illustrées dans la figure suivante avec une description de chaque une (figure II.18) :

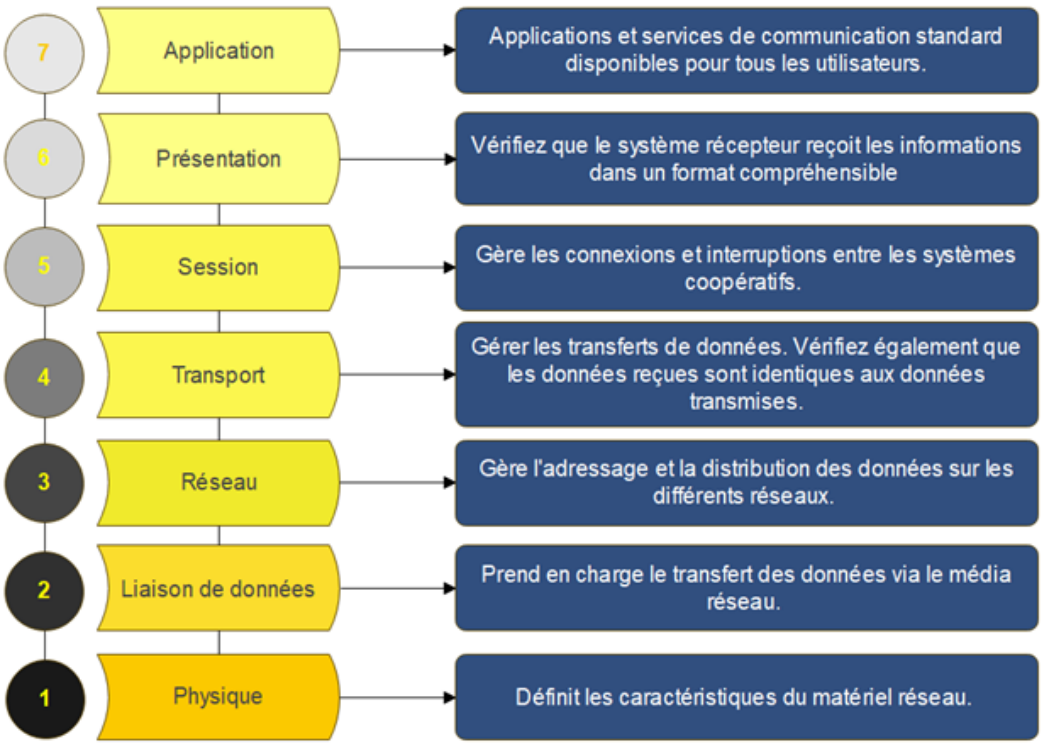


Fig. II.18 – Les couches de modèle OSI

II.8 Profinet (Process Field Network) :



Fig. II.19 – Profinet (Process Field Network)

PROFINET est une norme Ethernet en temps réel qui a été développée pour être utilisée dans les réseaux de communication industriels pour les applications d'automatisation de niveau terrain. Elle combine les fonctionnalités d'un bus de terrain avec TCP/IP et les protocoles associés (http, dhcp, etc.). Ce faisant, elle offre une norme industrielle Ethernet en temps réel. Grâce à sa compatibilité Ethernet, PROFINET permet une communication rapide et fiable avec des délais de latence minimes, ce qui est essentiel dans les opérations industrielles en temps réel. Il offre des fonctionnalités avancées telles que le déterminisme, la synchronisation précise des données, la gestion des priorités et la redondance pour garantir la disponibilité des données et la fiabilité du réseau [24].

Ce protocole facilite la configuration flexible du réseau grâce à sa capacité à prendre en charge divers topologies et méthodes de câblage, y compris la technologie Ethernet industriel tel que Ethernet standard, les fibres optiques ou les connexions sans fil. Il assure également une intégration transparente avec d'autres protocoles et systèmes existants dans l'environnement industriel.

II.8.1 Choix de PROFINET

PROFINET répond aux exigences variées grâce à sa communication continue basée sur Ethernet. Il offre des fonctionnalités qui couvrent une large gamme d'applications, allant du paramétrage avec des volumes importants de données au transfert ultra-rapide des données d'E/S. PROFINET permet ainsi l'automatisation en temps réel et l'intégration informatique avec des systèmes individuels [25].

La structure modulaire de PROFINET permet aux utilisateurs de choisir et d'implémenter individuellement un package PROFINET adapté à leur usine, en fonction de leurs besoins spécifiques (profil d'application). De plus, l'architecture ouverte de PROFINET facilite l'intégration transparente des solutions de bus de terrain existantes, en utilisant des proxys ou des passerelles.

Ce protocole offre également des concepts de diagnostic intelligents pour les appareils de terrain et les réseaux. Les données de diagnostic acycliques fournissent des informations précieuses sur l'état des appareils PROFINET et leur communication, permettant ainsi une représentation conviviale du réseau [26].

II.8.2 Les avantages de PROFINET

Profinet est un protocole de communication industriel qui présente plusieurs avantages importants. Voici quelques-uns des avantages de Profinet [27] :

- Compatibilité Ethernet à 100
- Haute disponibilité
- La communication évolutive en temps réel
- Sécurité intégrée
- La flexibilité de topologie de réseau

II.8.3 Topologie de réseau :

PROFINET propose une topologie de réseau flexible pour répondre de manière optimale aux besoins en termes de couverture géographique et de disponibilité, s'adaptant aisément aux spécificités de l'installation. Dans cette optique, le protocole offre les fonctionnalités suivantes :

- La topologie en ligne ou en bus qui relie principalement les équipements terminaux aux commutateurs intégrés sur le terrain.
- La topologie en étoile avec un commutateur central, principalement installée en armoire.
- La topologie en anneau, principalement pour la réalisation de la redondance des médias.
- La topologie en arbre mélangeant les topologies ci-dessus.

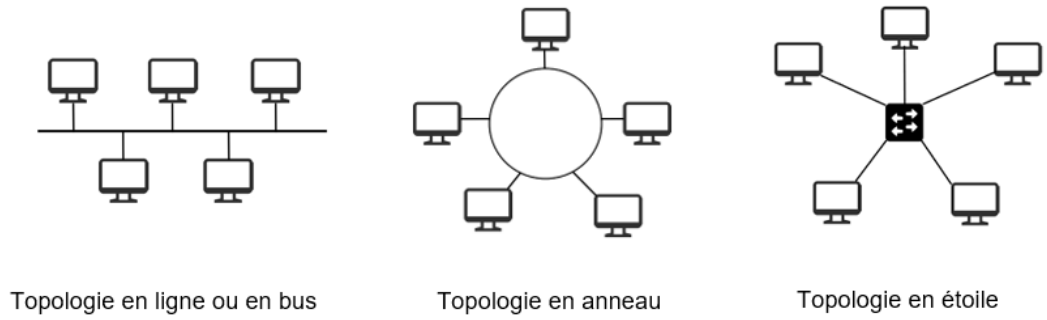


Fig. II.20 – Les topologies de réseau

II.8.4 La relation entre PROFINET et le modèle OSI

PROFINET simplifie le modèle OSI, qui est généralement composé de 7 couches, en adoptant un modèle TCP/IP plus succinct avec seulement 4 couches. Par conséquent, PROFINET, tout comme d'autres technologies de communication basées sur Ethernet, utilise le protocole TCP/IP pour la transmission des données.

Les quatre couches spécifiques du modèle TCP/IP sont les suivantes : la couche réseau, la couche Internet, la couche transport et la couche application.

Grâce à cette approche simplifiée, **PROFINET permet une mise en œuvre plus efficace et une intégration harmonieuse des fonctionnalités de communication dans les systèmes industriels.**

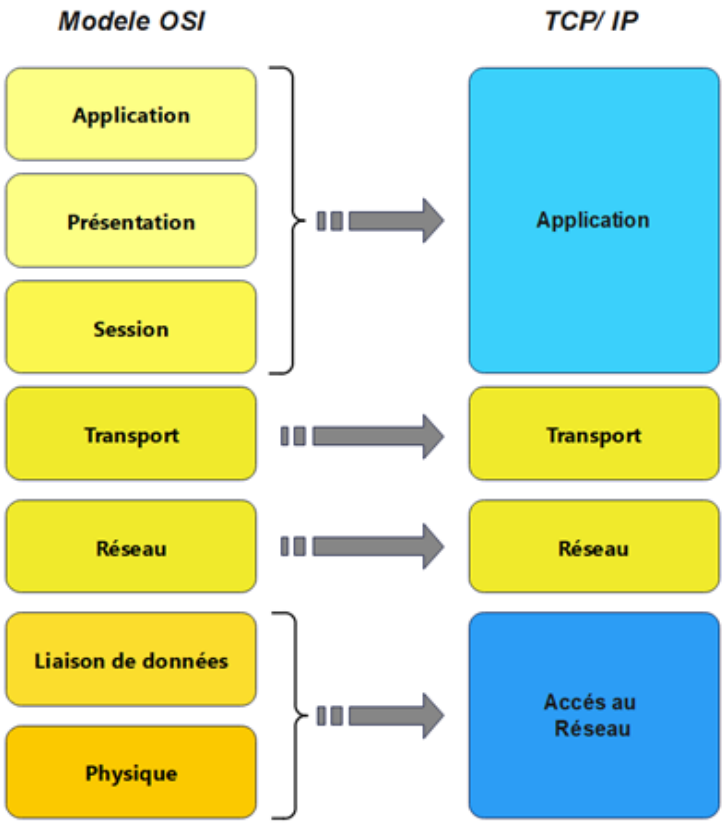


Fig. II.21 – La relation entre PROFINET et le modèle OSI

II.9 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté l'automatisation et ses buts, de même que l'architecture, en examinant l'élément principal de l'automatisation, qui est l'API et son fonctionnement, les multiples langages de programmation inter-connectés, de même que ses modules, composants et architecture, et la notion de communication qui constituent les liens vitaux entre les différents éléments de l'architecture de supervision .

Nous avons exploré également les différentes facettes de la supervision, en examinant la pyramide CIM et le rôle crucial de la SCADA dans la collecte, le traitement et la transmission des données opérationnelles.

L'utilisation et la programmation de ces éléments, seront expliquées dans le chapitre qui suit.

Chapitre III

Programmation et Implémentation

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter le logiciel utilisé (TIA portal et ces extensions), et expliquer les étapes et le code utilisé pour la réalisation de notre projet.

Après nous allons implémenter et interpréter les résultats obtenus la programmation sous TIA Portal.

III.2 TIA PORTAL

TIA Portal, également connu sous le nom de Totally Integrated Automation Portal, est un ensemble de logiciels développé par Siemens AG pour la programmation et la configuration des systèmes d'automatisation Siemens. TIA Portal est utilisé pour la programmation et la configuration de PLC (contrôleurs logiques programmables), de IHM (interfaces homme-machine) et d'autres dispositifs d'automatisation industrielle [28].

Ce logiciel offre un ensemble complet d'outils pour la conception, la programmation, la mise en service et la maintenance de systèmes d'automatisation. Il inclut une gamme de langages de programmation tels que le langage ladder, le diagramme à blocs fonctionnels et le texte structuré, ainsi qu'une grande variété de protocoles de communication.

III.2.1 Les extensions utilisées

- SIMATIC WinCC runtime professionnel
- S7 PLC Sim

III.2.1.1 SIMATIC WinCC runtime professionnel

SIMATIC WinCC Professionnel est un logiciel développé par Siemens AG pour la supervision et le contrôle des processus industriels. Il est utilisé pour la surveillance en temps réel, l'analyse des données et la gestion de l'interface homme-machine (IHM) dans des systèmes d'automatisation industrielle complexes [29].

Le logiciel est basé sur une architecture client-serveur et offre une interface graphique intuitive pour la configuration des IHM. Il prend en charge plusieurs langues et est compatible avec une large gamme de systèmes d'automatisation industrielle de Siemens [29].

SIMATIC WINCC Professionnel est largement utilisé dans l'industrie manufacturière, les centrales électriques, les usines de traitement des eaux et d'autres applications de contrôle de processus industriels.

III.2.1.2 Logiciel S7-PLC Sim

S7-PLC Sim est un logiciel de simulation utilisé pour la simulation des automates programmables Siemens. Ce dernier offre un environnement virtuel pour tester et évaluer les programmes d'automatisation avant qu'ils ne soient déployés sur du matériel réel. Il est pratique car il sert à réduire les temps d'arrêt de la production et à minimiser les erreurs lors du processus de mise en service.

III.3 Présentation du TIA PORTAL

III.3.1 Ouverture de logiciel

La figure ci-dessous montre la première fenêtre de logiciel après l'ouverture d'un projet tia portal :

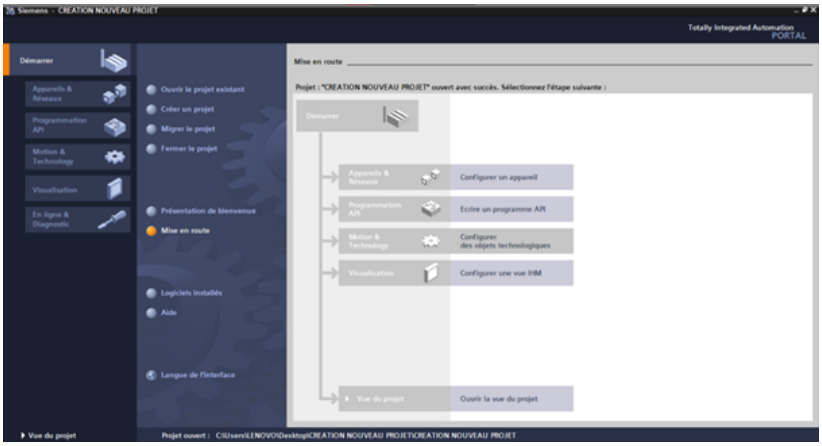


Fig. III.1 – Présentation du logiciel

III.3.2 La configuration matérielle

L'une des étapes clés de la configuration matérielle dans TIA Portal est la définition des composants matériels utilisés dans le système automatisé. Cela inclut les contrôleurs, les modules d'entrées/sorties, les capteurs, les actionneurs, et autres dispositifs connectés. Pour cela on va donner des exemples sur l'ajout de quelques matériels.

Pour cela on va donner des exemples sur quelques matériels ajoutes.

- Ajout et configuration d'un API :

L'ajout d'un automate sur TIA Portal peut être réalisé en utilisant la figure de configuration dédiée (figure III.2), permettant de spécifier les paramètres de l'automate tels que les adresses IP, les protocoles de communication, et les entrées/sorties, facilitant ainsi son intégration harmonieuse dans le système de contrôle."

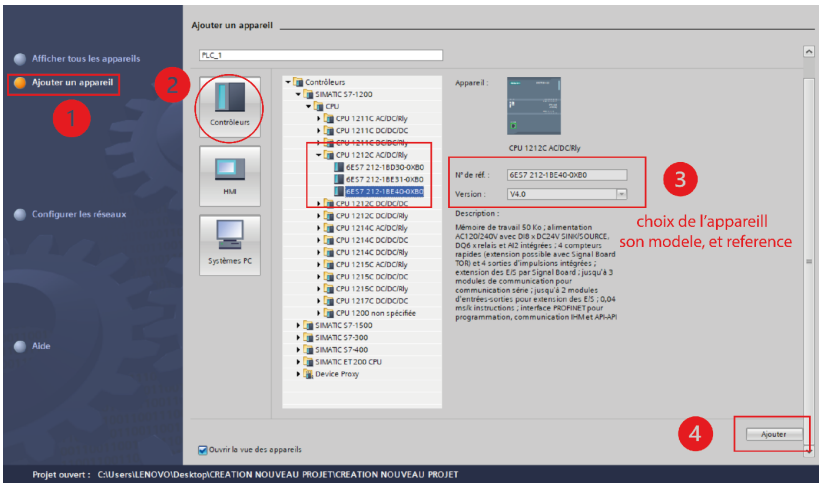


Fig. III.2 – Ajout d'un API sur TIA PORTAL

En ajoutant notre automate une fenêtre avec plusieurs composants qui sert a la configuration de ce dernier s'affiche, parmi ces composants on a **les blocs des programmes**, **la table des variables de l'api**, **Donnée appareil proxy** et **Modules locaux** ou on peut écrire le programme.

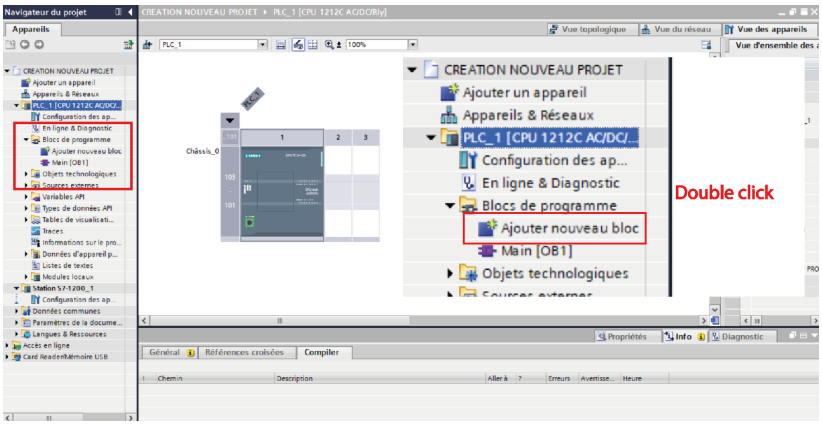


Fig. III.3 – Configuration d'un API

En cliquant sur "ajouter un nouveau bloc" les différentes blocs de données s'affichent.

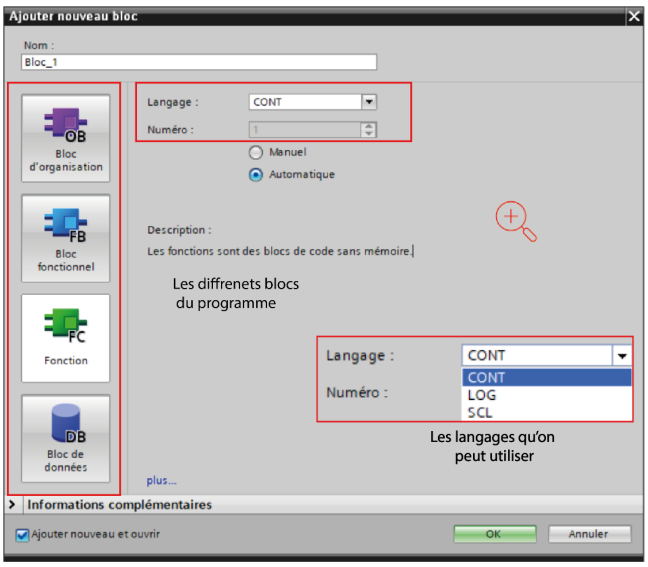


Fig. III.4 – Les blocs de programme

Description des différentes blocs de programme

Bloc d'organisation (OB) :

Les blocs d'organisation (OB) constituent l'interface entre le système d'exploitation de l'automate (CPU) et le programme utilisateur. Ils sont appelés par le système d'exploitation et gère les opérations suivantes[30] :

- Traitement cyclique du programme (par ex. OB1).
- Comportement au démarrage de l'automate.
- Traitement du programme déclenché par alarme.
- Traitement des erreurs.

Un projet doit contenir au moins un bloc d'organisation pour le traitement cyclique du programme. Un OB est appelé par un évènement déclencheur comme représenté dans la figure ci-dessous. Des priorités sont définies pour les différents OB afin que l'OB1 cyclique puisse par exemple être interrompu par un OB82 pour le traitement des erreurs [30].

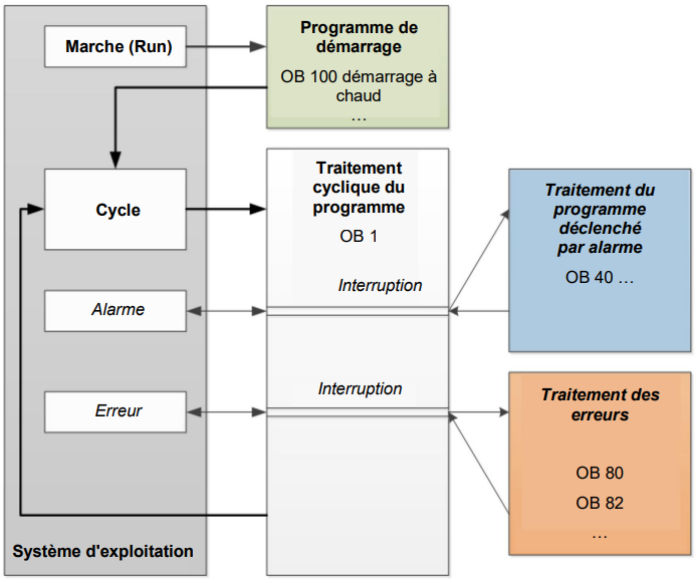


Fig. III.5 – Évènements déclencheurs dans le système d'exploitation et appels de OB

Bloc fonctionnelle (FB) :

Les blocs fonctionnels se réfèrent à des blocs de code qui stockent en permanence leurs variables d'entrée, de sortie et d'entrée/sortie, ainsi que leurs variables statiques, dans des blocs de données d'instance. Cela permet d'y accéder même après le traitement des blocs. On les désigne également sous le nom de blocs avec mémoire. Les FB sont utilisés pour des tâches qui ne peuvent être mises en œuvre avec des fonctions[30] :

- Toujours quand les temporisations et les compteurs sont nécessaires dans un bloc ou
- toujours quand une information doit être enregistrée dans le programme. Par ex. un indicatif de mode de fonctionnement avec un bouton.

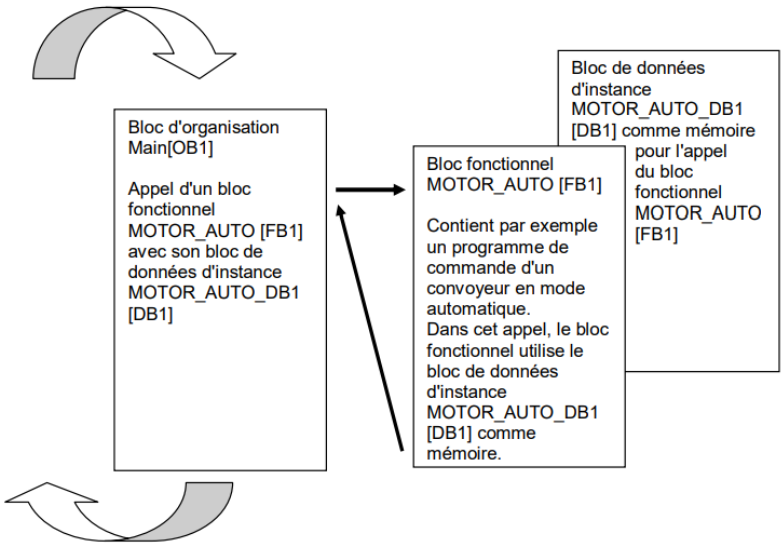


Fig. III.6 – Bloc fonctionnel et instance avec appel d'un bloc d'organisation Main [OB1]

Bloc de fonction(FC) :

Les fonctions (FC) sont des blocs de code sans mémoire. Elles n'ont pas de mémoire de données dans laquelle il est possible d'enregistrer les valeurs de paramètres de bloc. C'est pourquoi tous les paramètres d'interface doivent être inter-connectés lors de l'appel d'une fonction. Des blocs de données globaux doivent être crées pour stocker durablement les données. Une fonction contient un programme qui est toujours exécuté quand un autre bloc de code appelle cette fonction. Les fonctions peuvent par exemple servir dans les cas suivants [30] :

- Retourner un résultat dépendant des valeurs d'entrée pour les fonctions mathématiques.
- Exécuter des fonctions technologiques comme des commandes uniques avec combinaisons binaires.

Une fonction peut également être appelée plusieurs fois à divers endroits du programme.

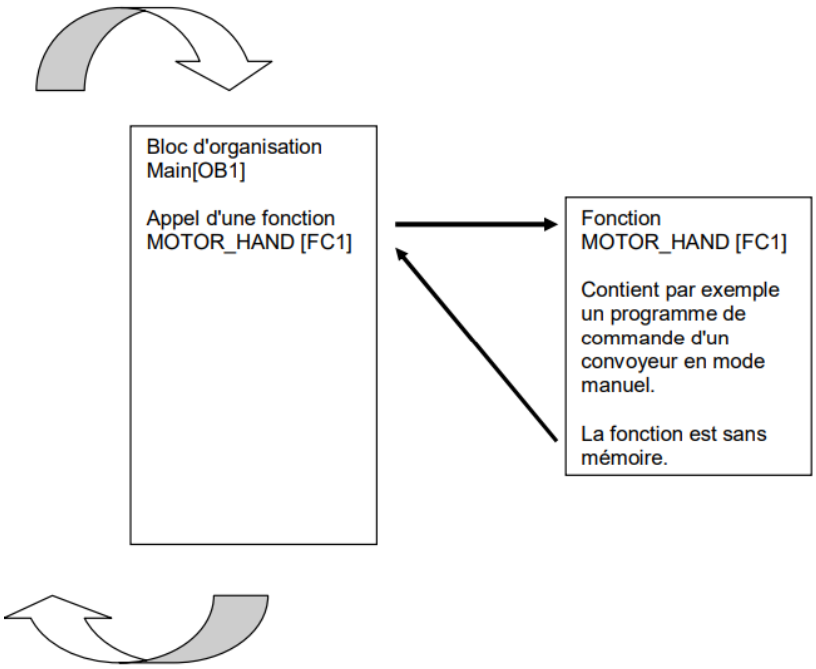


Fig. III.7 – Fonction avec appel d'un bloc d'organisation Main [OB1]

Bloc de données (DB) (Global et instance) :

Contrairement aux blocs de code, les blocs de données ne contiennent pas d'instructions, mais ils sont utilisés pour enregistrer les données utilisateur.

Les blocs de données contiennent donc des données variables qui sont utilisées dans le programme utilisateur. La structure des blocs de données globaux peut être définie au choix [30].

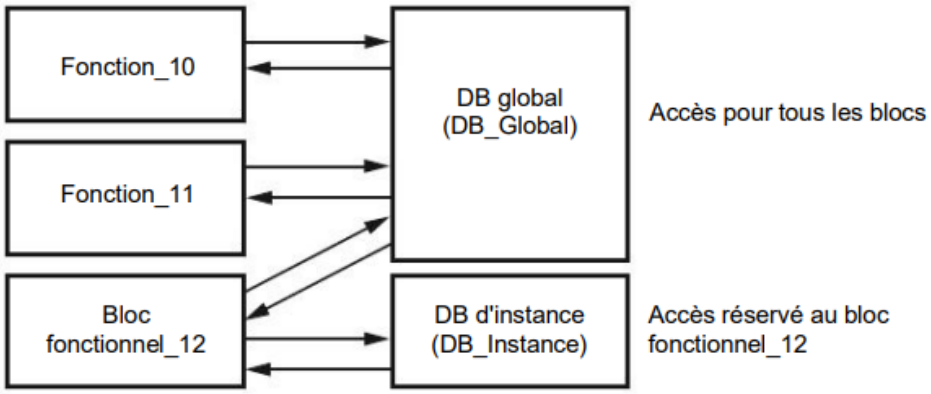


Fig. III.8 – Différence entre bloc de données global et bloc de données d'instance

- Ajout et configuration d'un HMI

Les IHM (Interfaces Homme-Machine) sont des composants essentiels largement utilisés dans les usines pour permettre aux opérateurs d'interagir avec les machines.

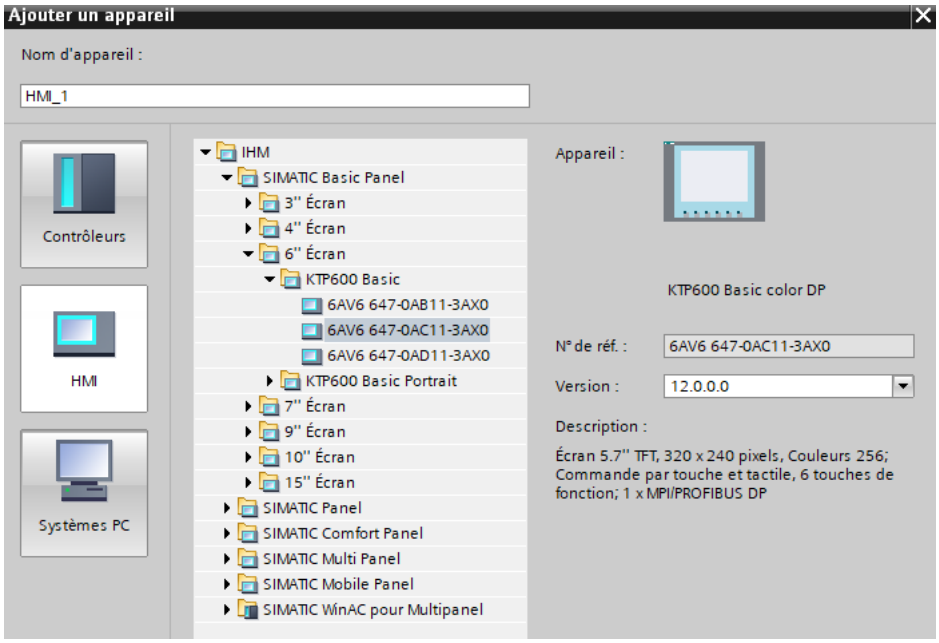


Fig. III.9 – Les différents IHM disponibles

Lors de la configuration des HMI, on peut personnaliser plusieurs paramètres pour répondre aux besoins spécifiques de notre application

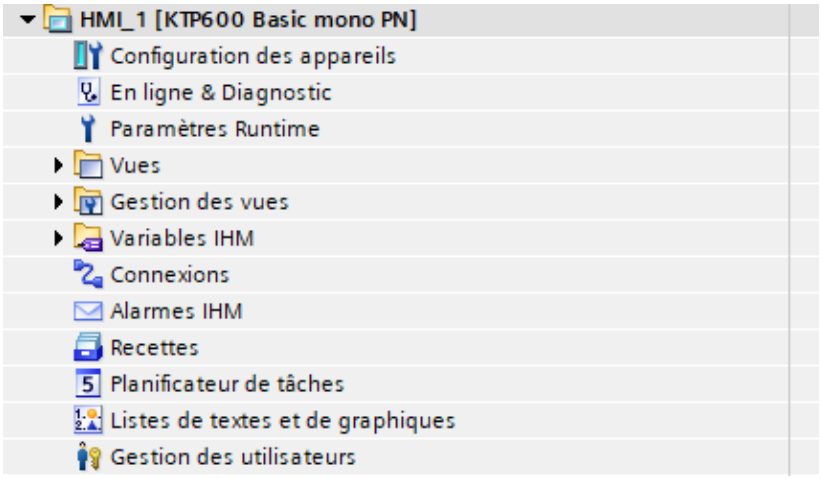


Fig. III.10 – Configuratoin IHM

On peut configurer les vues pour afficher les informations, aussi la communication entre HMI et l'API en spécifiant les adresses IP, les protocoles de communication (tels que Profinet ou Profibus) et les variables partagées entre l'IHM et les PLC.

On peut aussi configurer les alarmes qui sont des messages affichés dans un écran visuel de l'interface pour avertir les opérateurs en cas d'un défaut ou un problème dans la machine. L'un des paramètres qui peut être ajouté dans HMI est l'aspect de sécurité pour cela on a la possibilité de gérer l'authentification de l'opérateur en mettant un mot de passe d'accès pour ces interfaces graphiques.

- Ajout d'une Station PC

Dans cette station PC, il est possible d'ajouter une application SIMATIC HMI. cette application sert à la visualisation et le contrôle des processus en temps réel.

Il est important de noter que le choix de la version de WinCC dépend de la configuration du système pour notre application HMI. Dans une configuration mono poste, où le logiciel est installé sur une seule machine, on utilise WinCC RT Advanced [31].

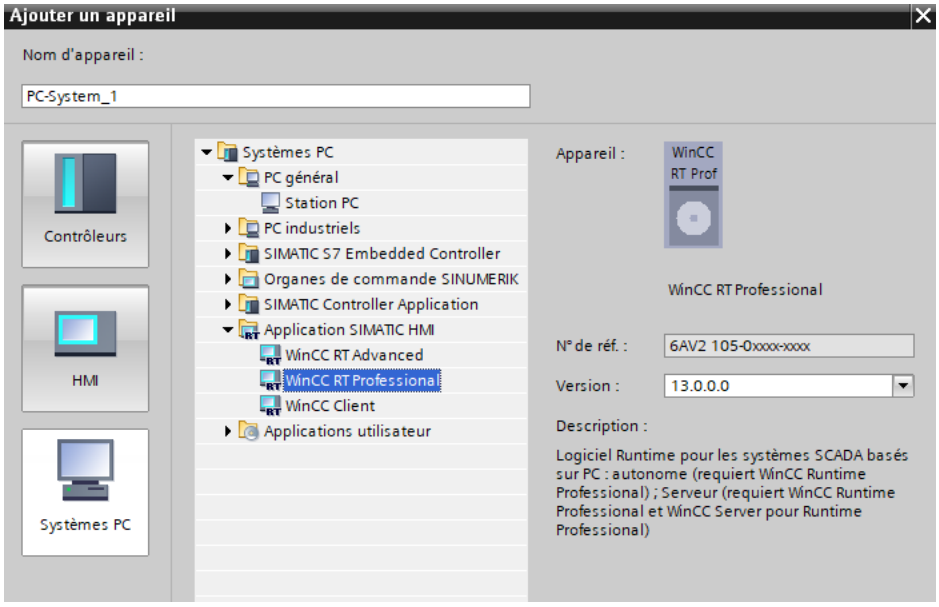


Fig. III.11 – Ajout d'PC station et une application SIMATIC HMI

En revanche, pour les systèmes SCADA et les configurations multipostes, où l'on a un serveur avec plusieurs clients, on installe WinCC Professional sur le serveur et WinCC Client sur les postes de travail clients [31].

Comme l'HMI on peut aussi configurer plusieurs paramètres et tout ça selon notre processus et le cahier de charge.

III.4 Partie programmation

D'abord, avant de commencer la supervision des unités de forages et traitements des eaux, nous avons importé le programme existant dans les API en utilisant un câble profinet afin de le détailler et l'étudier en découvrant les différents appareils et les blocs utilisés pour l'améliorer et le modifier selon les besoins.

III.4.1 Les abonnés accessibles au programme :

La figure ci-dessous illustre les différents éléments accessibles au programme (figure III.14) :

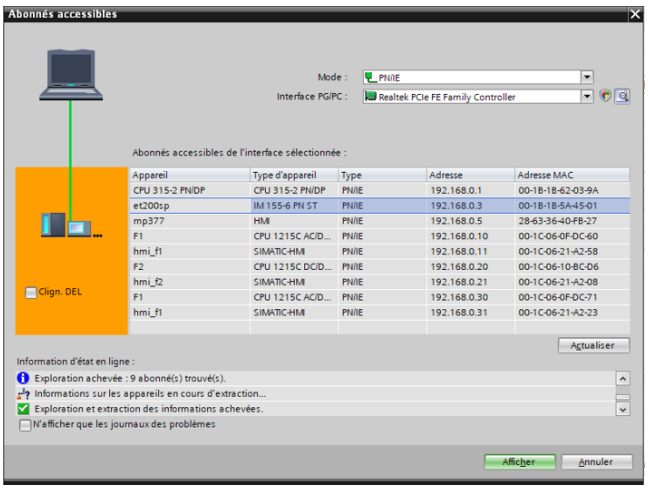


Fig. III.12 – Les abonnés accessibles au programme

Un zoom in sur éléments accessibles :

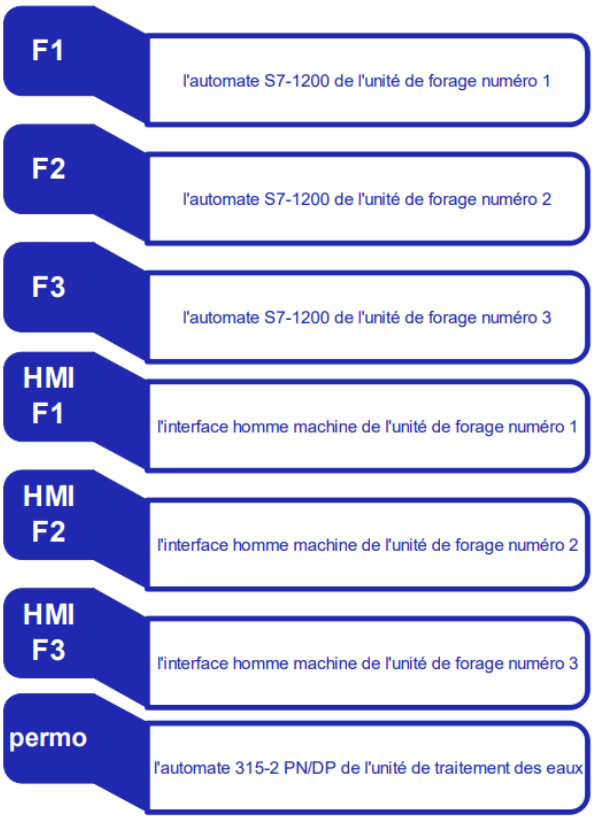


Fig. III.13 – Définition des abonnés accessibles au programme

III.4.2 L'architecture de réseau

Les éléments mentionnés ci-dessus, sont organisés dans un réseau avec des adresse IP unique ce qui est important pour la communication entre ces derniers :

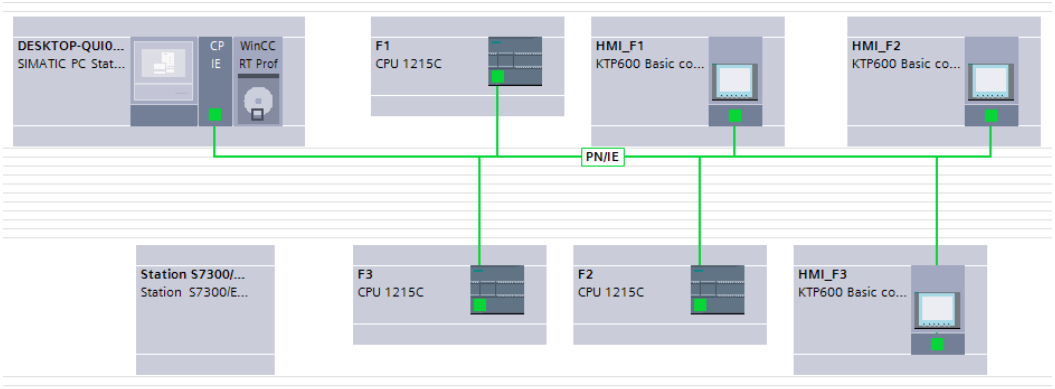


Fig. III.14 – Architecture de réseau

III.5 Description du code

La partie suivante abordera la description du code, fournissant une analyse des différentes sections, instructions et fonctions utilisées pour la programmation de l'automate, permettant ainsi une compréhension claire et précise de la logique de contrôle mise en place.

III.5.1 Principe de fonctionnement général du code

Le principe de fonctionnement général du code est illustré dans le schéma suivant :

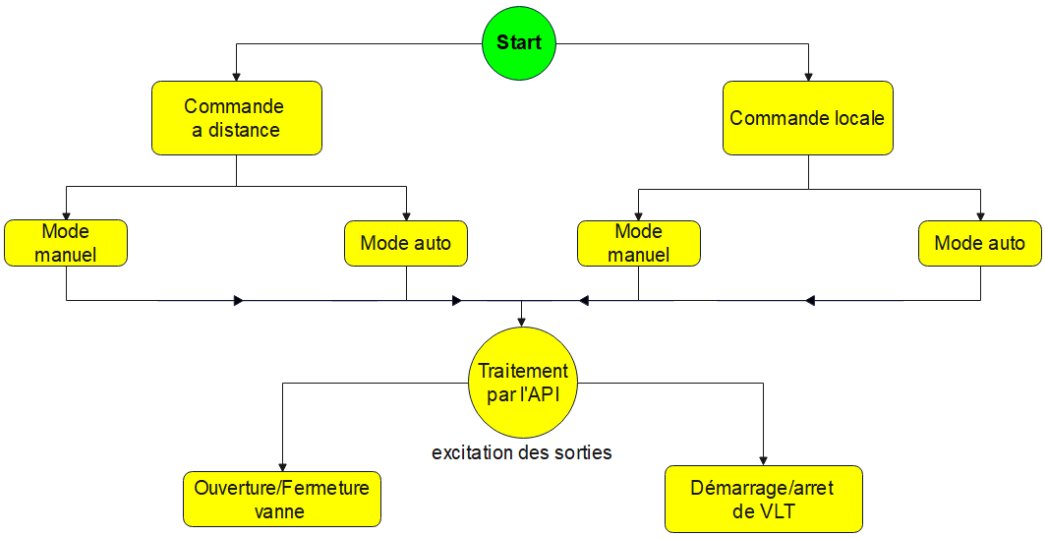


Fig. III.15 – Fonctionnement du code

La figure (III.15) représente le fonctionnement du système, avec un mode de commande à distance où l'opérateur peut contrôler le système depuis un PC distant, et un mode de commande local où l'opérateur utilise un HMI sur place. Dans chaque mode, il existe des

sous modes automatique et manuel qui permettent un contrôle automatisé ou manuel du système, en fonction des besoins de l'opérateur.

Dans ce rapport on va détailler les blocs de programme et le code chargé dans l'API du forage1 car ce sont les mêmes procédures dans les autres forages : Cette fenêtre contient les paramètres configurables de l'API :

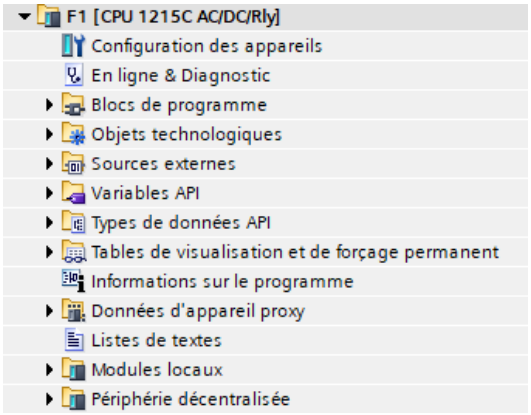


Fig. III.16 – Les paramètres configurables de l'API

III.5.2 Les différents blocs de notre programme

Notre programme se compose de plusieurs blocs (figure III.17) et chaque bloc à sa propre tâche.

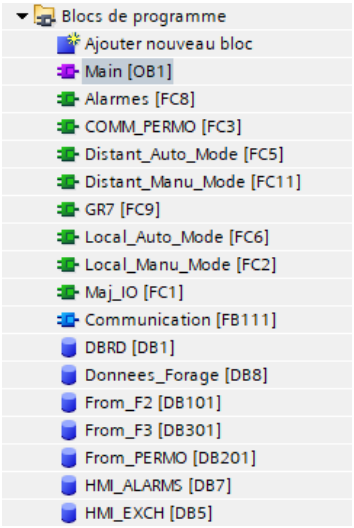


Fig. III.17 – Les blocs de notre programme

Main [OB1] : Le bloc principal appelé ”Programme principal” ou ”Main OB” contrôle l’exécution du programme et contient l’organisation hiérarchique des autres blocs. On trouve aussi des instructions pour la gestion des tâches et le démarrage du programme de l’automate.

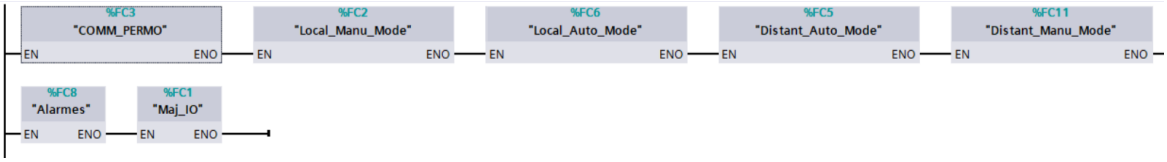


Fig. III.18 – Réseau principal

La commande locale (blocs utilisés : FC6, FC2) :

Les réseaux de programme de cette partie de commande :

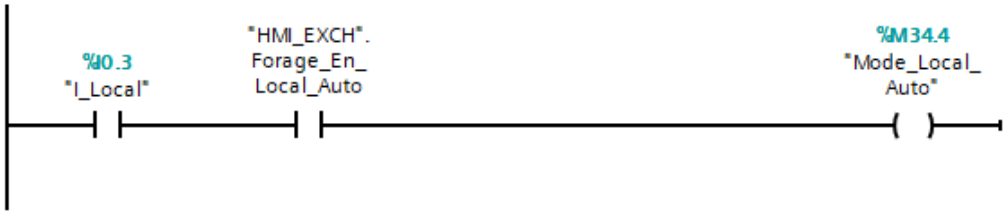


Fig. III.19 – Réseaux d’activation mode local auto

En mode locale l’opérateur doit basculer entre le mode automatique et manuel depuis L’IHM.

Parmi les conditions qui doivent être activées avant le démarrage du cycle automatique, il est nécessaire que les bâches d’eau ne soient pas au niveau élevé et qu’on aura des demandes de remplissage depuis l’unité de traitement des eaux (PERMO).

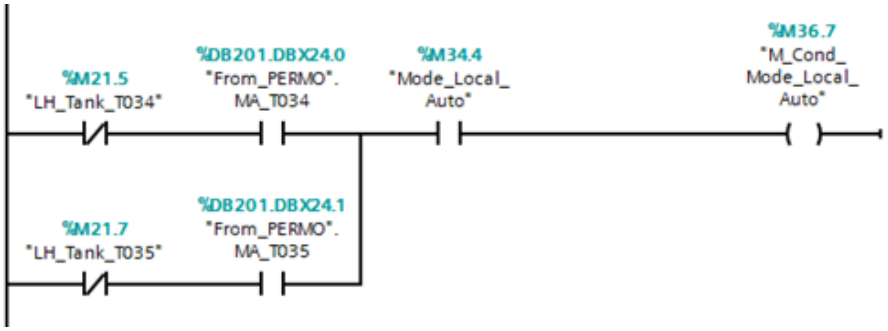


Fig. III.20 – Réseau des conditions pour l’activation du cycle automatique

En mode automatique une demande de débit sera activée afin d'exciter l'entrée du variateur de vitesse pour commencer le remplissage.

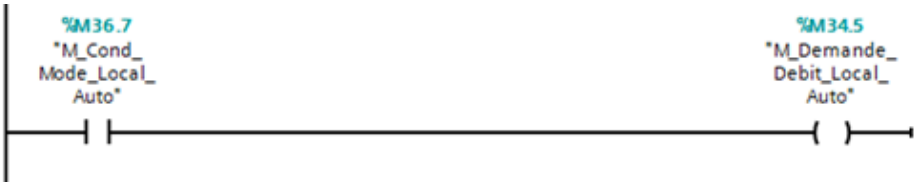


Fig. III.21 – Excitation du variateur de vitesse

Pour le mode manuel il faut ouvrir une des deux vannes pour que la pompe puisse démarrer et ce mode de sécurité a été ajouté pour être dans un seul mode soit de production ou de nettoyage.

Un schéma qui résume le fonctionnement du mode local dans la figure (III.22) :

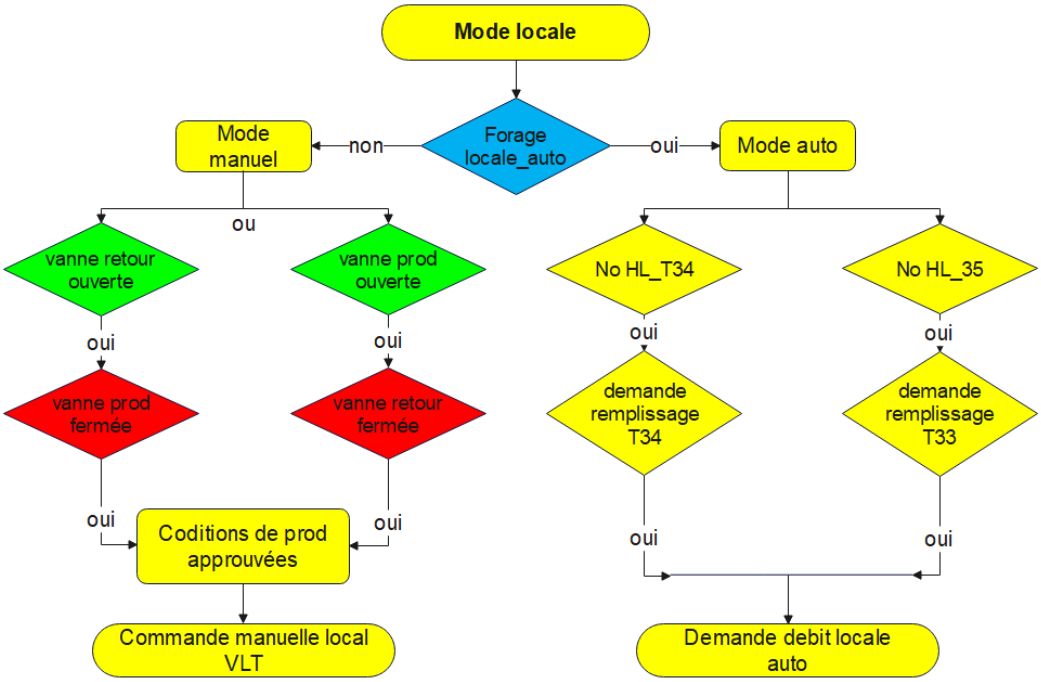


Fig. III.22 – Fonctionnement du mode local

La commande à distance (blocs utilisés : FC5, FC11) :

Pour la commande à distance on a utilisé la même logique que la commande locale mais on a laissé toujours le switch de commande local en cas de défaillance de PC de supervision.



Fig. III.23 – Activation mode distant automatique

Dans la commande à distance l'opérateur peut basculer aussi entre le mode automatique et manuel depuis le pc de supervision ajouté en fonction des besoins.

La partie suivante on a traité les demandes remplissage de l'unité de traitement des eaux avec le mode distant auto en activant un mode qui s'appelle "demande-débit-distant-auto"

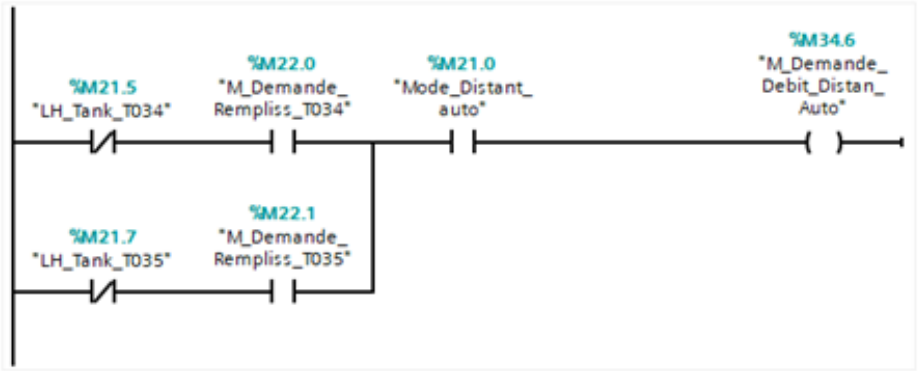


Fig. III.24 – Réseau d'activation du mode distant automatique

Pour le mode manuel, cela fonctionne de la même manière comme le mode local pour démarrer la pompe. Il est nécessaire qu'une des deux vannes soit ouverte.

Voici la figure qui représente le réseau de cette dernière en démontrant le traitement de ce cas.

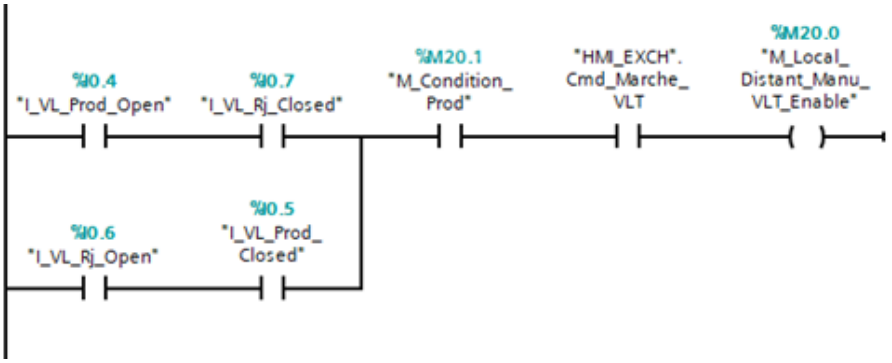


Fig. III.25 – Réseau d'activation mode distant manuel

Un schéma explicatif de fonctionnement de ce mode distant est présenté dans la page suivante (figure III.26) :

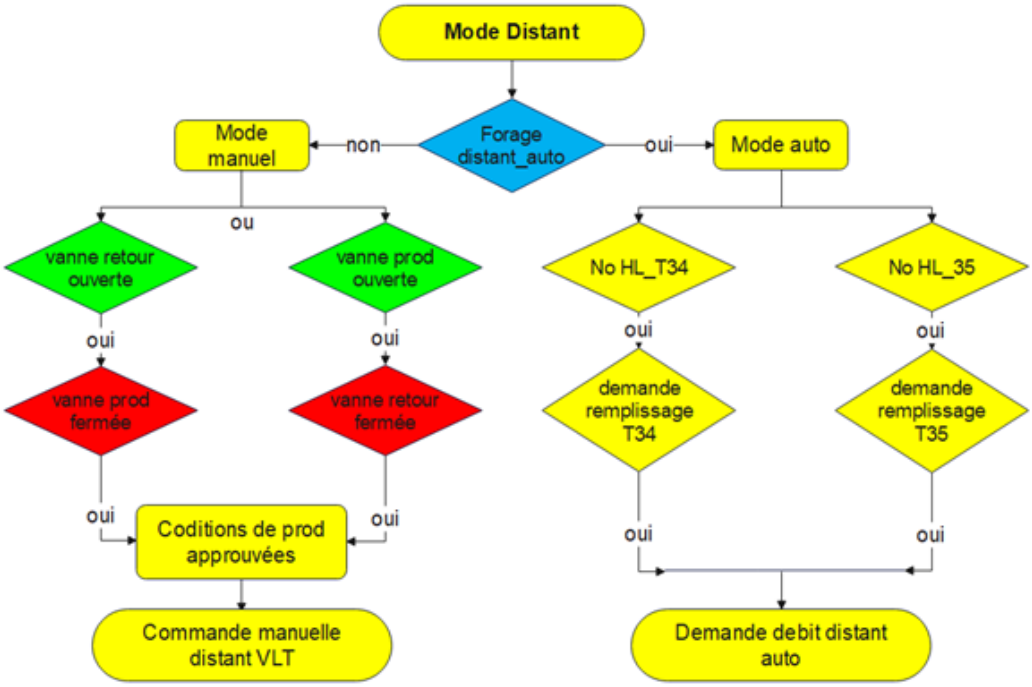


Fig. III.26 – Schéma de fonctionnement du mode distant

Traitement des phases :

Pour cette partie on a proposé deux phases, une de production et l'autre de nettoyage et le choix d'activation entre ces deux phases sera selon la condition de turbidité.

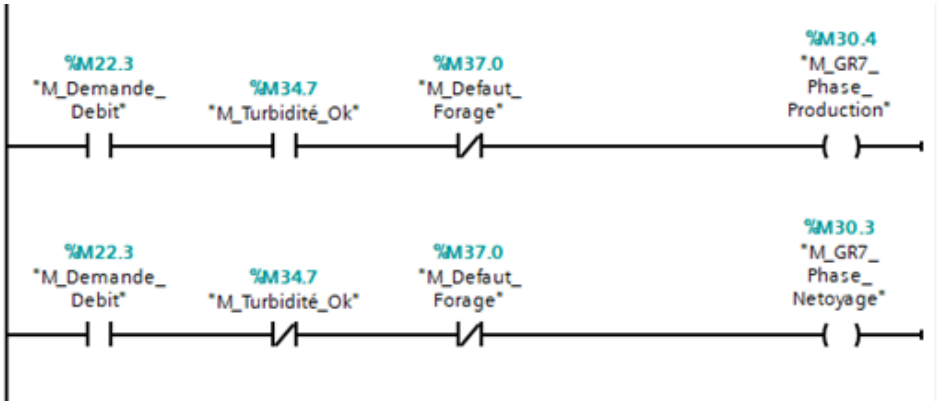


Fig. III.27 – Réseau d'activation des phases

Si on n'a pas de défaut avec une turbidité normal on passe à la phase de production sinon la phase de nettoyage sera activée dans le cas où l'eau est truble. et ci-dessous un schéma explicatif (figure III.28) de cette partie.

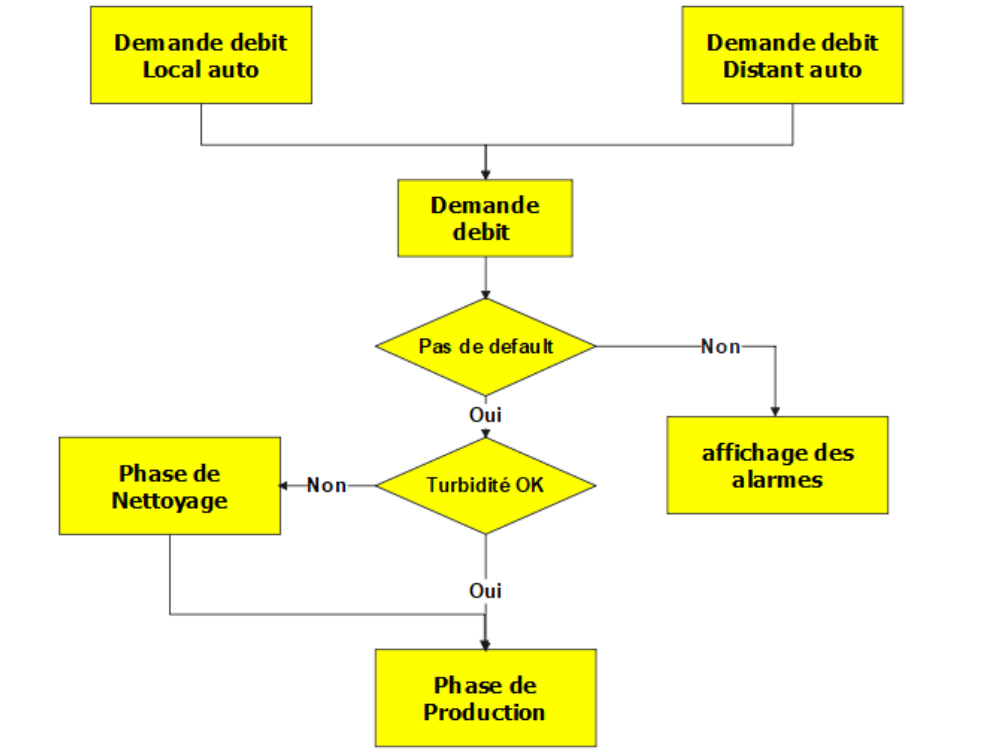


Fig. III.28 – Activation des différentes phases

Affectation des sorties :

Dans cette partie on a traité l'excitation des sorties tout dépend de mode choisi :

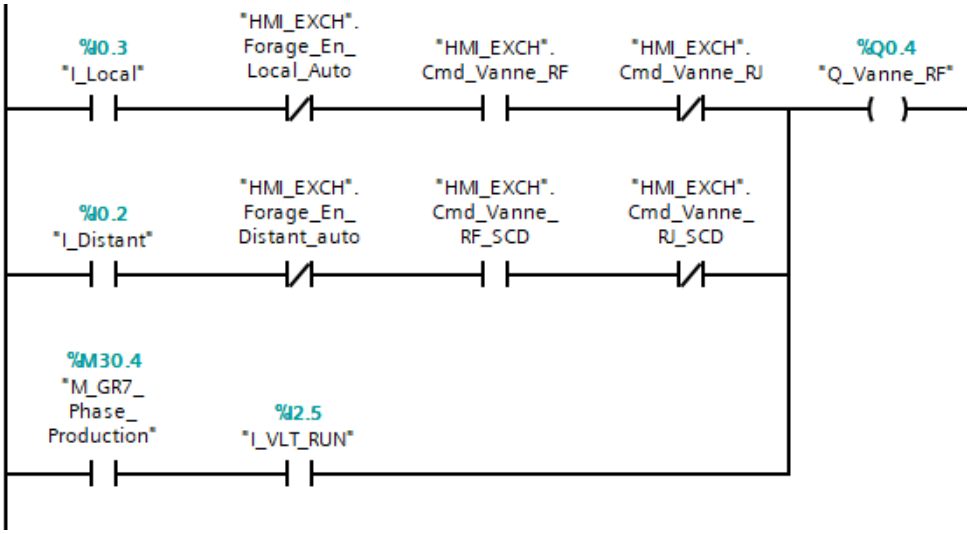


Fig. III.29 – Réseau d'affectation des sorties

Et ainsi, notre programme de processus fonctionne en fonction du mode choisi et des conditions fournies. Si nous sommes dans la phase de production, la vanne de production sera ouverte. Sinon, dans le cas de la phase de nettoyage, la vanne de retour d'égout sera ouverte.

Ci-dessous un schéma explicatif (figure III.31) de cette partie.

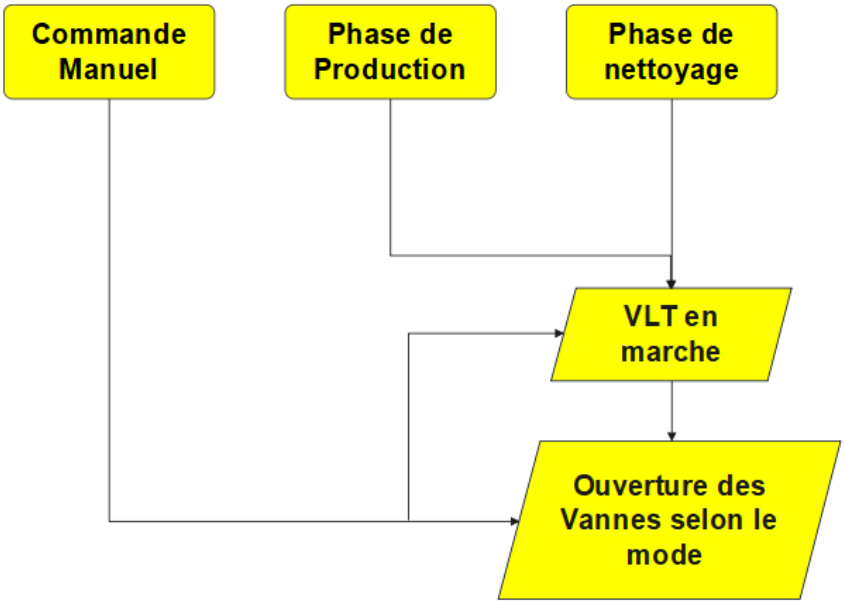


Fig. III.30 – Affectation des sorties

COMM PERMO (blocs utilisés (FC3) :

Ce bloc contient les six blocs (seront affichés en double cliquant sur le bloc principal (figure III.31)) de communication de l'unité de forage 1 avec les autres unités.

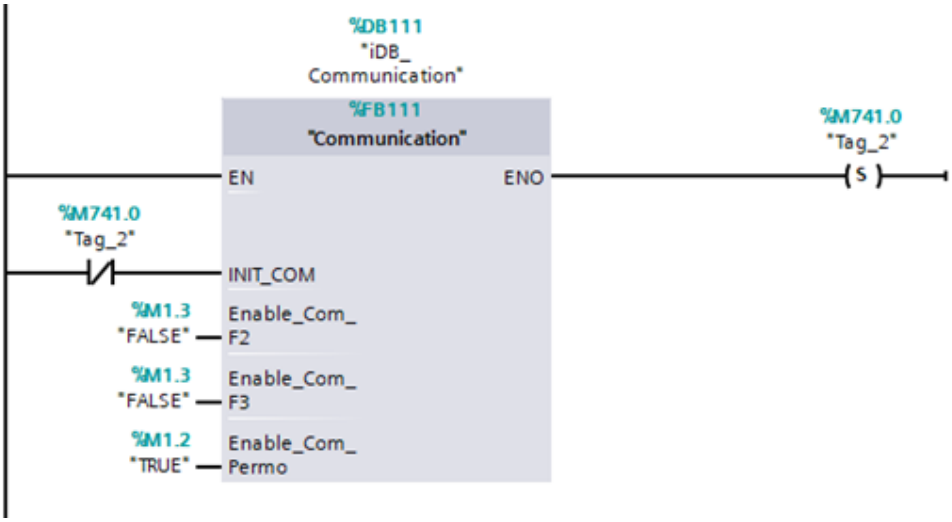


Fig. III.31 – Réseau principal de communication de l'unité de forage 1

Grâce au protocole PROFINET, il existe des fonctions appelées ”Put” et ”Get” qui servent à la communication entre les automates.

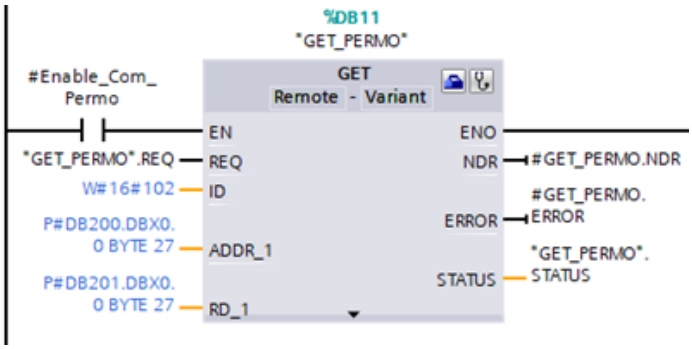


Fig. III.32 – Bloc fonction get

Ce bloc de GET sert à importer les informations depuis le bloc de donné 200 de PERMO vers un autre bloc de donnés (dans notre exemple bloc de donnés 201 est de forage 1)

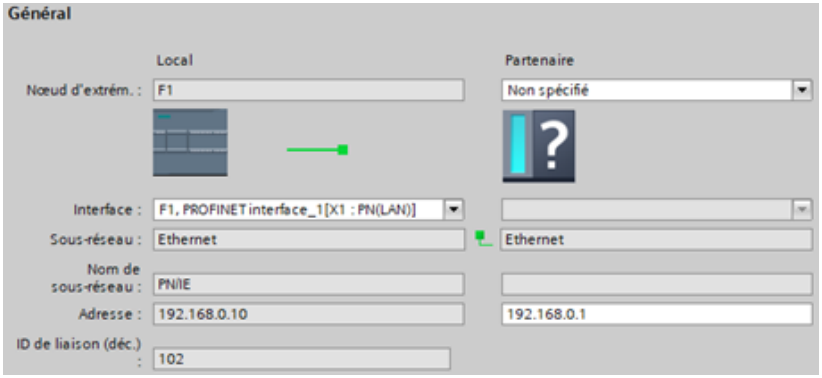


Fig. III.33 – Configuration fonction get

Cette dernière figure (III.33) montre aussi que le partenaire est PERMO de l’adresse 192.168.0.1



Fig. III.34 – Configuration fonction get 2

Par exemple dans ce cas nous avons transféré 27 octets depuis l’automate S7300 de traitement des eaux.

Ces blocs marchent par ordre et cet ordre ce fait avec une variable appelée (ComOperation) qui sera incrémentée à chaque fois qu'un bloc effectuera sa tâche complète sans erreur et passera au prochain.

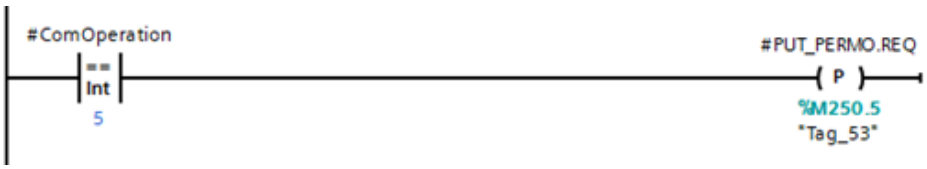


Fig. III.35 – Réseau d'ordre

Pour cela il va s'incrémenter avec 1 et comme ça jusqu'à la valeur 5 et il sera réinitialisé à 0.

Et comme ça il passera sur tous les blocs et ça reste comme une boucle.

Alarmes (bloc utilisé FC8) :

Dans ce bloc, on peut retrouver les différentes alarmes de défauts de systèmes.

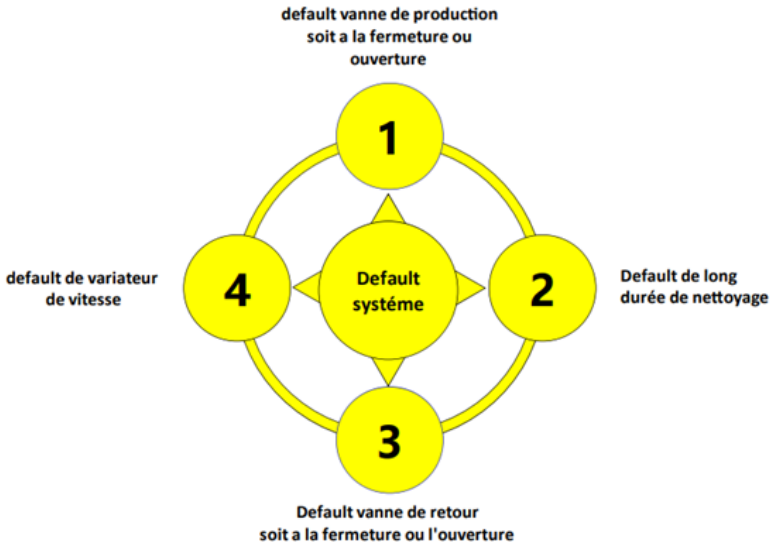


Fig. III.36 – Différents défauts du système

1- Par exemple la vanne de production contient un capteur de retour quelle est ouvert ou fermée, ça arrive ou ce capteur est endommagé, dans ce cas ou il y'avais les deux signaux en même temps de marche et d'arrêt on dit que cette vanne est en défauts et c'est le même cas avec la vanne de retour.
2- Aussi le variateur de vitesse peut envoyer un signal de défaut dans le cas de manque de phase ou que la pompe est endommagée.
3- Et l'un des défauts aussi de système est que lorsque l'eau est truble la vanne de retour reste ouverte jusqu'à la turbidité sera inférieure au seuil donné et si elle reste ouverte pendant une longue durée un défaut sera détecté.

On donne quelques exemples sur les réseaux qui existent dans ce bloc pour bien comprendre son fonctionnement.

Dans le premier réseau de la figure (III.37), on trouve l'entrée qui fait l'acquittement des défauts :

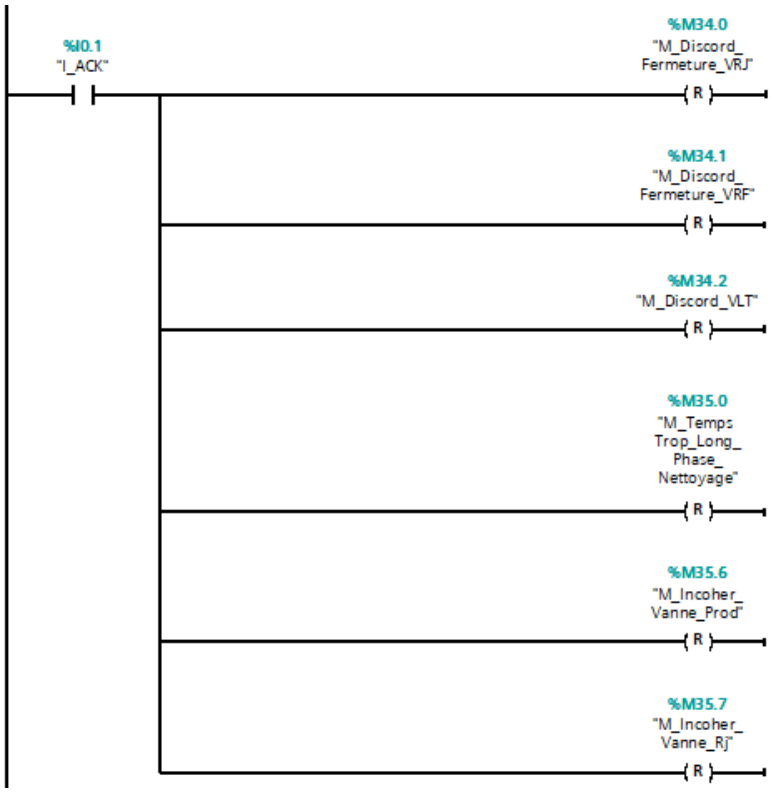


Fig. III.37 – Réseau d'acquittement des défauts

Avec cette entrée ACK tous les défauts de système seront supprimés et tout marche sans problème.

Dans le réseau de la figure (III.39) on trouve un exemple comment un défaut peut être détecté.

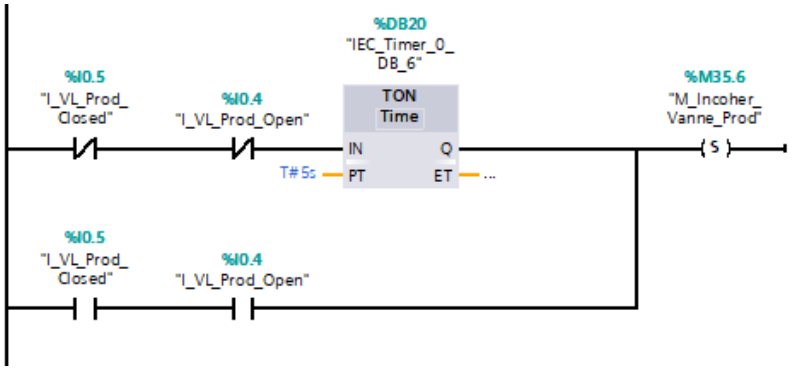


Fig. III.38 – Détection des défauts

Par exemple si les deux entrées de la vanne de production sont ouvertes et fermées en même temps .

Tables des variables de l'API

Notre automate contient 151 variables, il y a 22 entrées et 6 sorties.

Variables API

	Nom	Table des variables	Type de données	Adresse	Réma...	Visibl...
1	Clock_Byte	Default tag table	Byte	%MB0		
2	Clock_10Hz	Default tag table	Bool	%M0.0		
3	Clock_5Hz	Default tag table	Bool	%M0.1		
4	Clock_2.5Hz	Default tag table	Bool	%M0.2		
5	Clock_2Hz	Default tag table	Bool	%M0.3		
6	Clock_1.25Hz	Default tag table	Bool	%M0.4		
7	Clock_1Hz	Default tag table	Bool	%M0.5		
8	Clock_0.625Hz	Default tag table	Bool	%M0.6		
9	Clock_0.5Hz	Default tag table	Bool	%M0.7		
10	Q_VLT_Enable	Default tag table	Bool	%Q0.2		
11	QW_VLT_Ref_Speed	Default tag table	Word	%QW64		
12	MW_VLT_Ref_Speed	Default tag table	Word	%MW50		
13	I_VLT_Ok	Default tag table	Bool	%I2.4		
14	I_VLT_RUN	Default tag table	Bool	%I2.5		
15	I_TP_Product	Default tag table	Bool	%I1.2		
16	I_TP_NEP	Default tag table	Bool	%I1.3		
17	I_VL_Prod_Open	Default tag table	Bool	%I0.4		
18	I_VL_Prod_Closed	Default tag table	Bool	%I0.5		
19	I_VL_Rj_Open	Default tag table	Bool	%I0.6		
20	I_VL_Rj_Closed	Default tag table	Bool	%I0.7		
21	I_FLOW_Accum	Default tag table	Bool	%I2.1		

Fig. III.39 – Tables des variables

III.6 La réalisation d'un système SCADA

La réalisation d'un SCADA comprend généralement quelque étapes essentielles qui sont motionnées et expliquées :

1- **Ajout d'une station PC**

Afin d'introduire la supervision dans notre système automatisé on a ajouté un PC station avec une application SIMATIC HMI wincc professionnel qui offre une interface permettant de visualiser le processus en temps réel, les alarmes, les performances du système et tout ça pour améliorer la gestion du projet.

Ce pc doit être ajouté dans le réseau avec une adresse IP unique.

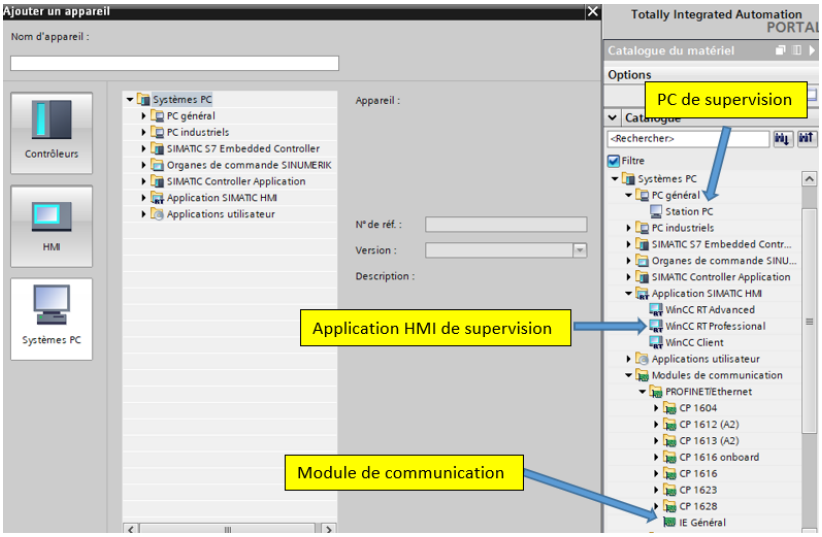


Fig. III.40 – Ajout d'une station pc

2- Connexion IHM

Après, une connexion IHM est nécessaire pour assurer la communication entre le système de supervision et l'automate programmable, Pour l'échange des données entre le PC et les API donc on crée trois connexions entre les trois API et l'application Wincc professionnel.

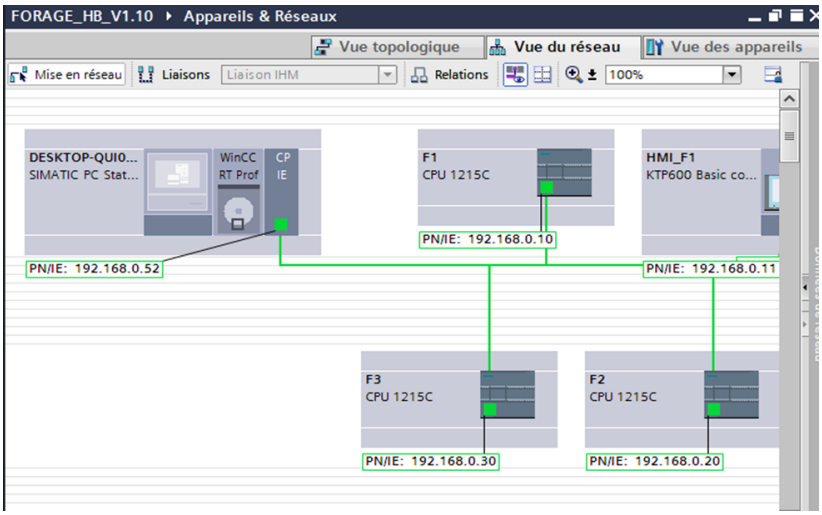


Fig. III.41 – Connexion entre Wincc professionnel et les API

Remarque : Le point d'accès pupitre opérateur de WinCC RT Professionnel doit être connecté au S7Online pour permettre la communication entre le pupitre opérateur et le contrôleur SIMATIC S7.

S7 Online est un protocole de communication utilisé pour la communication en temps réel entre les pupitres opérateurs et les automates programmables de Siemens. Il permet une communication rapide et fiable entre les différents composants du système [32].

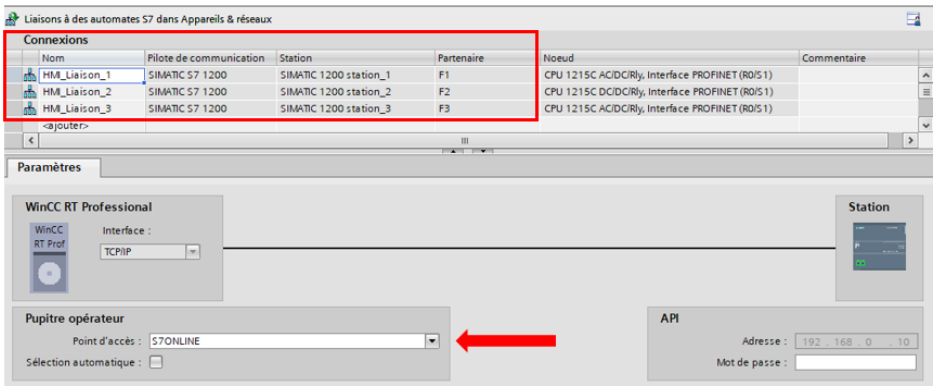


Fig. III.42 – Changement point d'accès vers S7 online

3- **Choisir une carte réseau**

Pour assurer la connexion entre le nouveau PC et les APi il faut préciser la carte de réseau utilisée depuis notre PC.

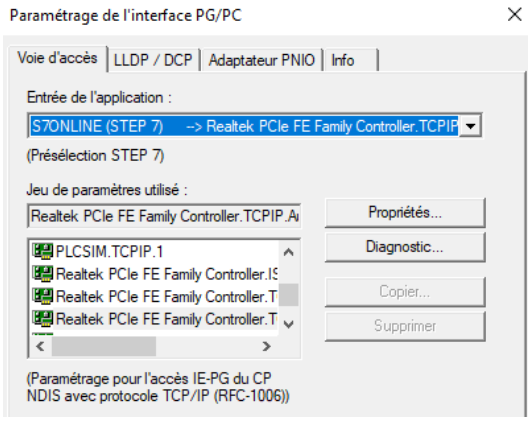


Fig. III.43 – Choix de carte réseau

4- **Réalisation des interfaces graphique**

Pour visualiser, surveiller et contrôler le processus, des interfaces IHM lisibles, facile sont introduite.

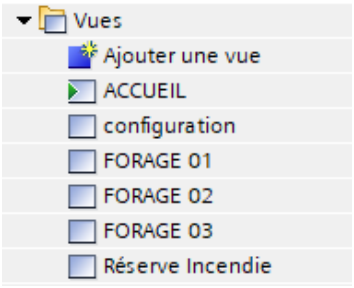


Fig. III.44 – Les interfaces graphiques

5- **Importer notre table des variables**

Pour compléter la procédure on importe la table de variable qui contient nos entrées/sorties dans la table de variables IHM de notre nouveau PC, on a affecté chaque composants de nos interfaces graphiques avec la variable appropriée.

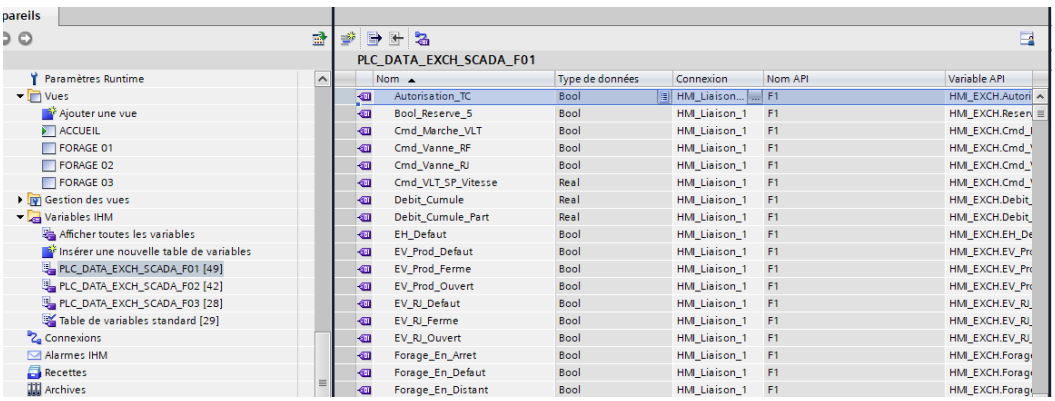


Fig. III.45 – Table des variables

III.7 Conception et réalisation des interfaces graphiques

Le développement des interfaces graphiques est une étape clé dans la réalisation de nombreux projets. Ces interfaces offrent aux utilisateurs une expérience visuelle et interactive, facilitant ainsi l'accès aux fonctionnalités et la manipulation des données. Dans le cadre de notre projet, nous avons consacré une attention particulière à la conception et à la mise en place d'interfaces graphiques intuitives et fonctionnelles. Pour cela nous allons présenter les étapes suivies pour la création de ces interfaces.

Pour une meilleure supervision de ce processus nous avons réalisés quartes interfaces graphiques :

- Une interface pour la page d'accueil.
- Une interface pour chaque station de forage.
- Une interface de configuration des paramètres.
- Une interface pour le réservoir incendie.

III.7.1 Création des interfaces graphiques

Au début, aucune vue n'est affichée et elle apparait donc vide, comme présenté dans la figure suivante (III.46).

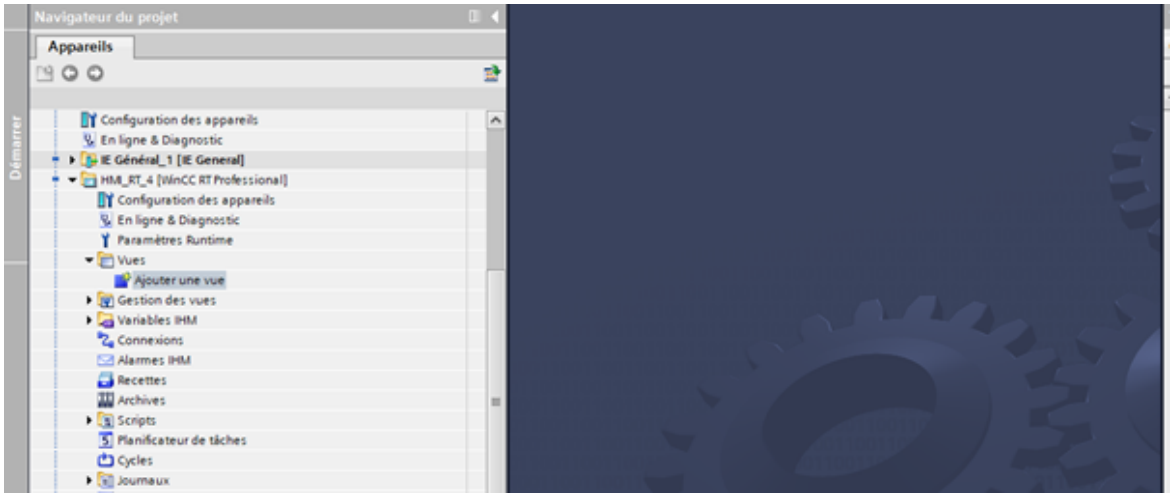


Fig. III.46 – Démarrage de la programmation des interfaces graphiques

Après nous avons ajouté les vues dont nous avons besoin.

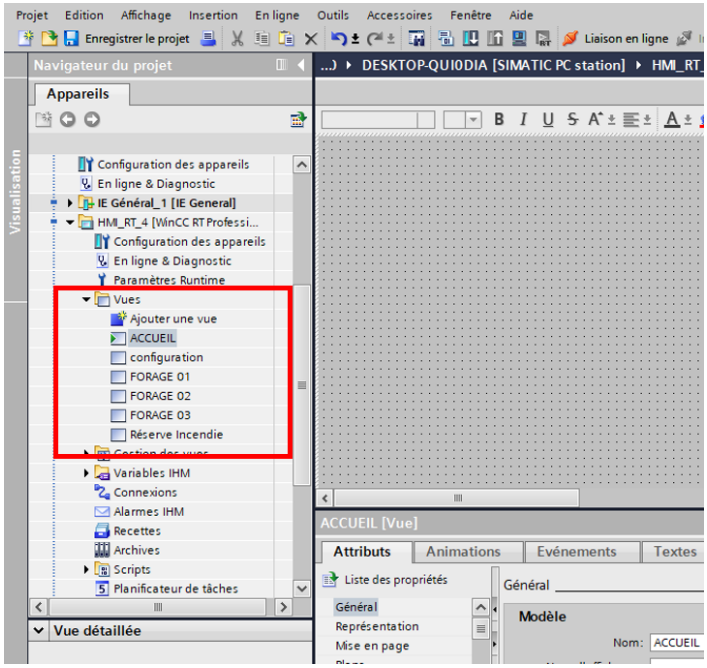


Fig. III.47 – Ajout des vues

Dans l'étape suivante, nous avons incorporé tous les équipements nécessaires en utilisant l'option graphique de la barre d'accessoires. Cela nous a permis de rassembler tous les équipements qui constituent le processus.

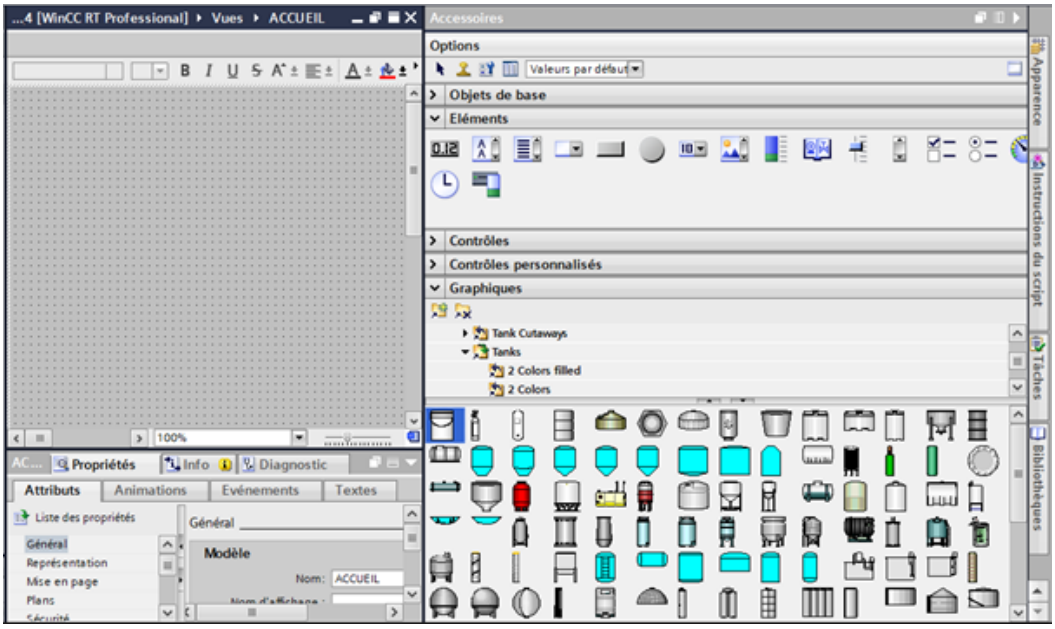


Fig. III.48 – Les équipements disponibles sur TIA PORTAL

Ensuite, certains équipements nécessitent une affectation d'une variable de processus pour afficher la grandeur de chaque variable affectée en temps réel.

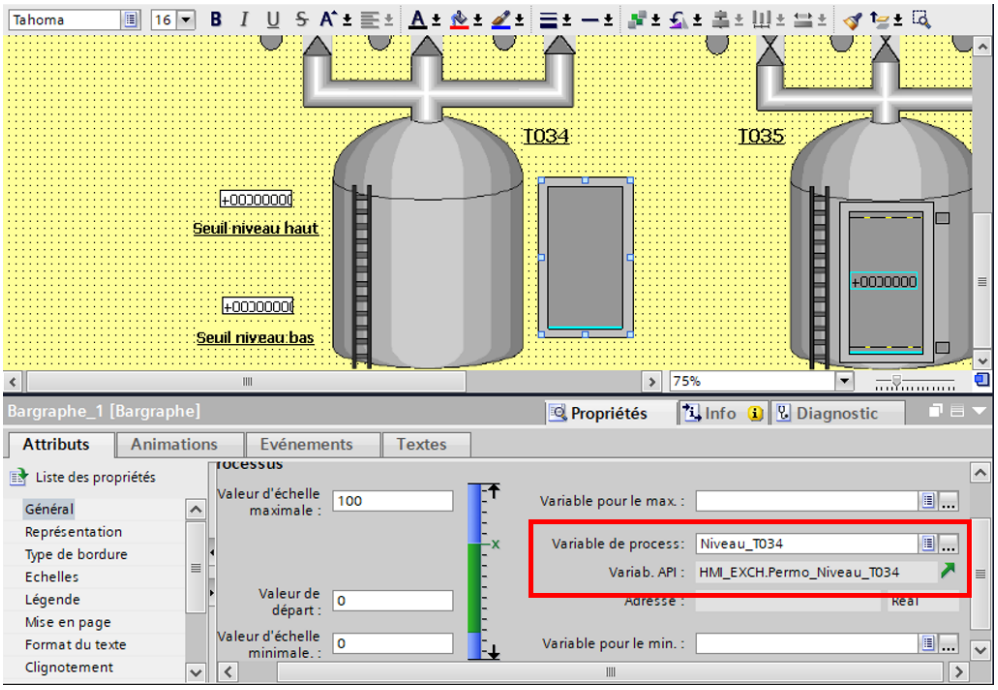


Fig. III.49 – Affectation des variables de processus

Pour chaque bouton ajouté, il est nécessaire de lui attribuer des animations et un événement pour garantir un bon fonctionnement.

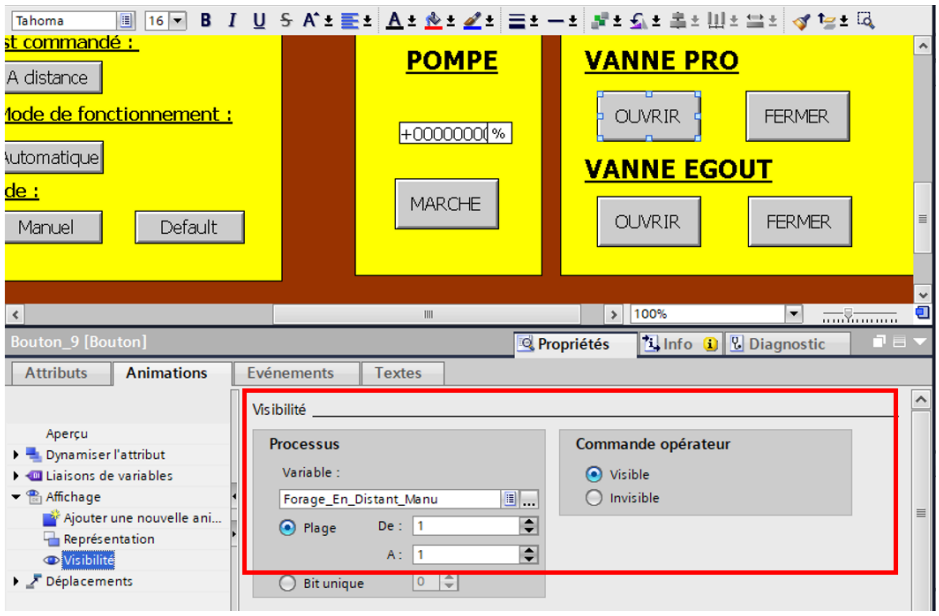


Fig. III.50 – Configuration des boutons

Concernant les événements, TIA Portal offre la possibilité d'ajouter plusieurs événements, chacun étant associé à une fonction spécifique.

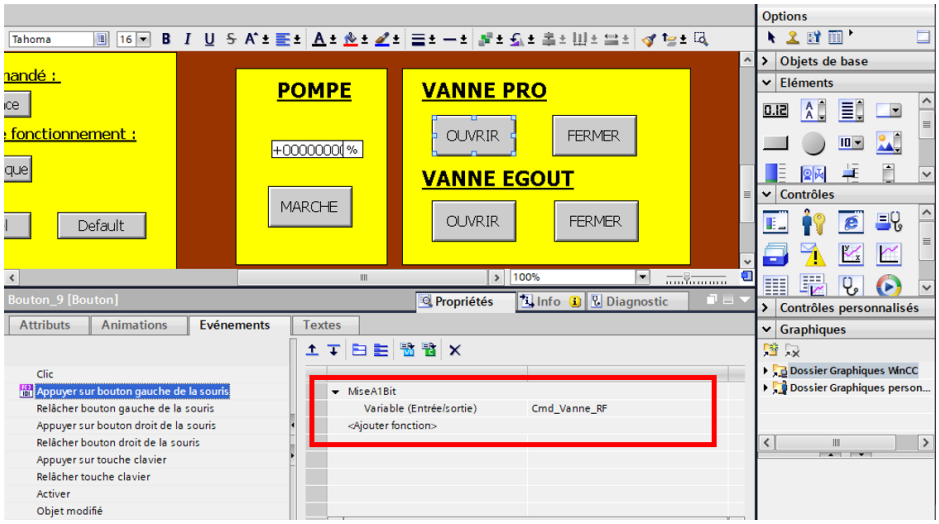


Fig. III.51 – Les différentes évènements sur TIA PORTAL

III.8 Partie Implémentation et résultats

En relions le PC et l'automate en utilisant un câble profinet, on injecte notre code dans l'API, ensuite on passe à la visualisation des interfaces graphiques réalisées.

Toutes les captures qui sont présentées sont prises directement depuis le PC ajouté dans la salle de contrôle (figure III.52), après l'implémentation du code.

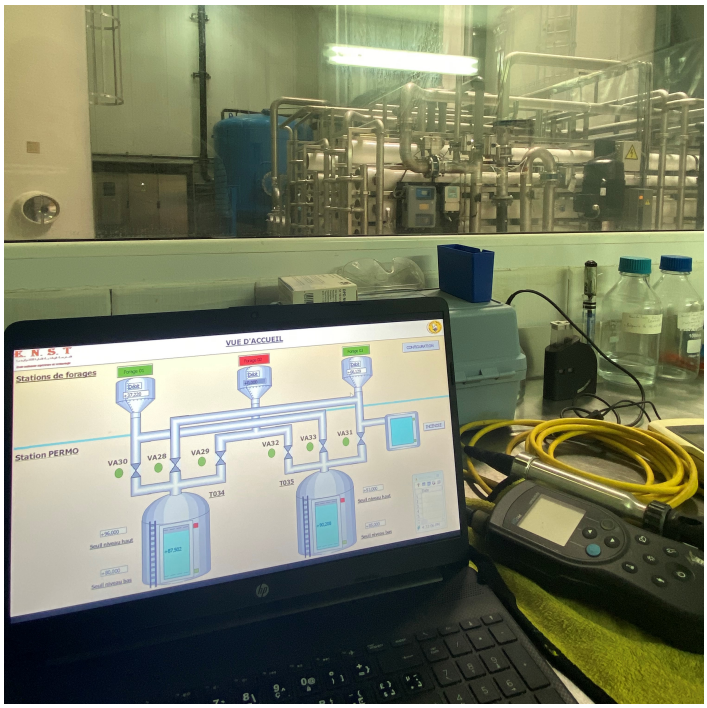


Fig. III.52 – Photo réelle depuis la salle de contrôle

III.8.1 Interface d'accueil

On commence par l'interface d'accueil ou on trouve la vue globale du processus qui contient les deux bâches à eaux avec les trois unités de forages ou l'opérateur à plusieurs équipements à superviser :

- Niveau d'eau de chaque bâche.
- Niveau d'eau de réservoir d'incendie.
- Les seuils des deux bâches à eaux
- L'état des vannes (ouverte/fermée).
- La turbidité de l'eau.
- Débit d'eau fournis par chaque station de forage.
- Les alarmes en cas d'un problème

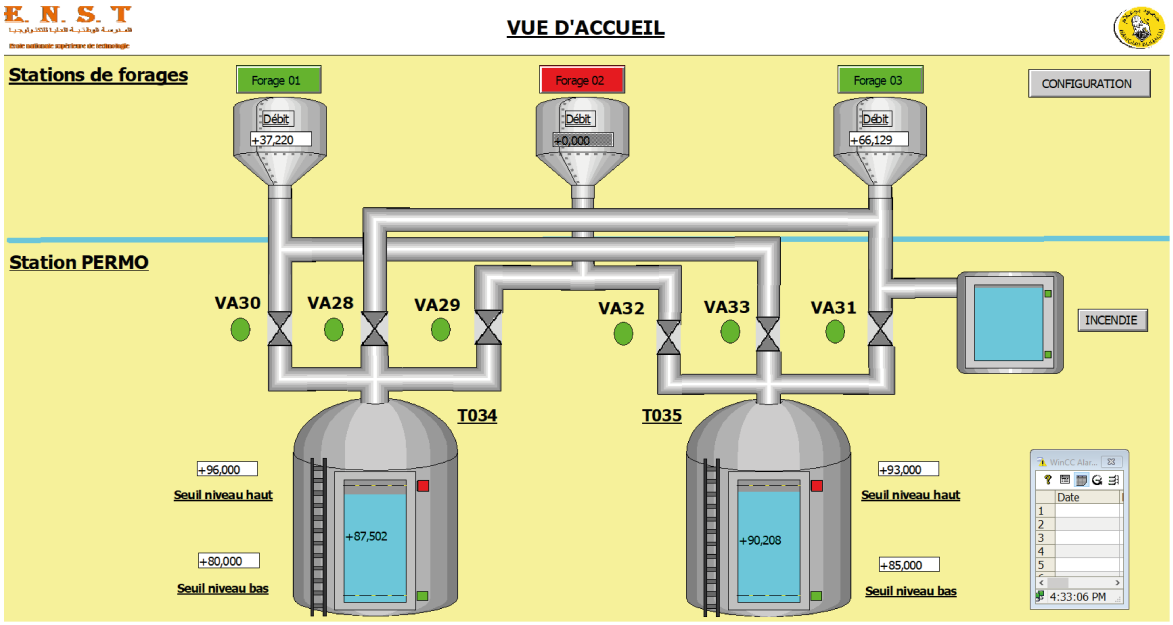


Fig. III.53 – Interface d'accueil

En cliquant sur le bouton configuration présent dans la figure (III.53) cela nous prendra directement vers l'interface de configuration (figure III.54).

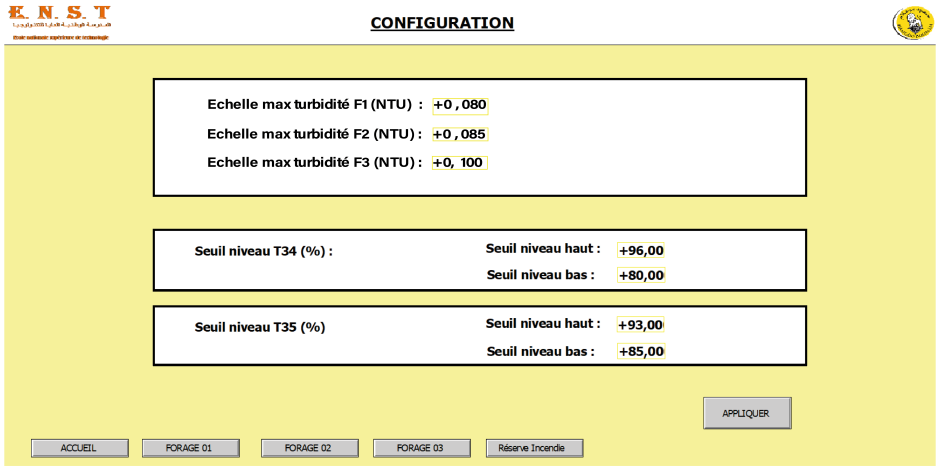


Fig. III.54 – Fenêtre de configuration

Remarque :

Cette fenêtre permet à l'opérateur de définir les seuils et les limites correspondants aux niveaux des réservoirs et à l'échelle de turbidité, en fonction du programme journalier.
par exemple : réservoir T34 (max = 96, min= 80), ce qui est confirmer dans la figure (III.53)
En clinquant sur le boutant Forage 1 de l'interface graphique de la figure (III.53) cela nous prendra directement vers l'interface graphique de ce dernier.

III.8.2 Interface du forage 1

Pour faciliter la tâche de l'opérateur, les unités de forage sont toutes conçues de manière identique. Elle contient deux modes (à distance et local) et elles offrent les mêmes fonctionnalités et des différentes grandeurs à visualiser.

III.8.2.1 Mode de supervision à distance

Le mode de supervision à distance comprend un mode manuel et un mode automatique, permettant de basculer entre les deux modes en cliquant sur les boutons respectifs (manuel ou automatique), offrant ainsi une flexibilité opérationnelle optimale.

Mode distance manuel :

Le mode manuel offre aux opérateurs un contrôle direct et une prise de décision en temps réel, leur permettant d'intervenir de manière ciblée et de gérer efficacement les situations complexes ou les scénarios non routiniers, en juste appuyons sur les boutons ajoutées, (par exemple ouvrir ou fermer une vanne).

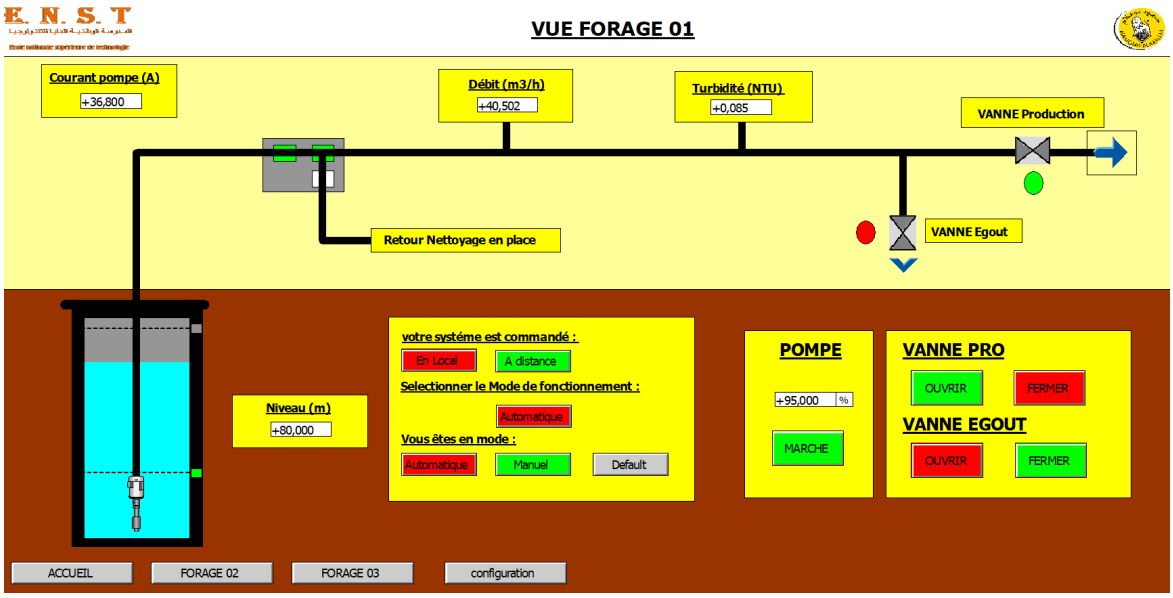


Fig. III.55 – Interface du forage 1 en mode distant manuel

Interprétations et remarques :

- Le bouton distant est en vert car on est dans le mode à distance.
- Le bouton manuel est en vert et cela signifie l'activation de ce dernier, et le bouton automatique est en rouge et cela signifie la désactivion de ce mode.
- Le bouton distant reste en vert car on est toujours dans le mode à distance.

- En remarque aussi l'apparition de deux fenêtres (pompes et vanne pro/égout).

Pompe : nous permet de commander la vitesse, la marche et l'arrêt de la pompe forage.
Vanne pro et égout : permettent d'effectuer des actions sur les vannes de ces derniers (ouverture/fermeture).

Mode distance automatique :

Le mode automatique assure une surveillance continue et autonome du processus, ce qui permet une optimisation efficace et une réduction des interventions manuelles. La figure suivante (III.56) représente la vue réaliser pour ce de ce mode.

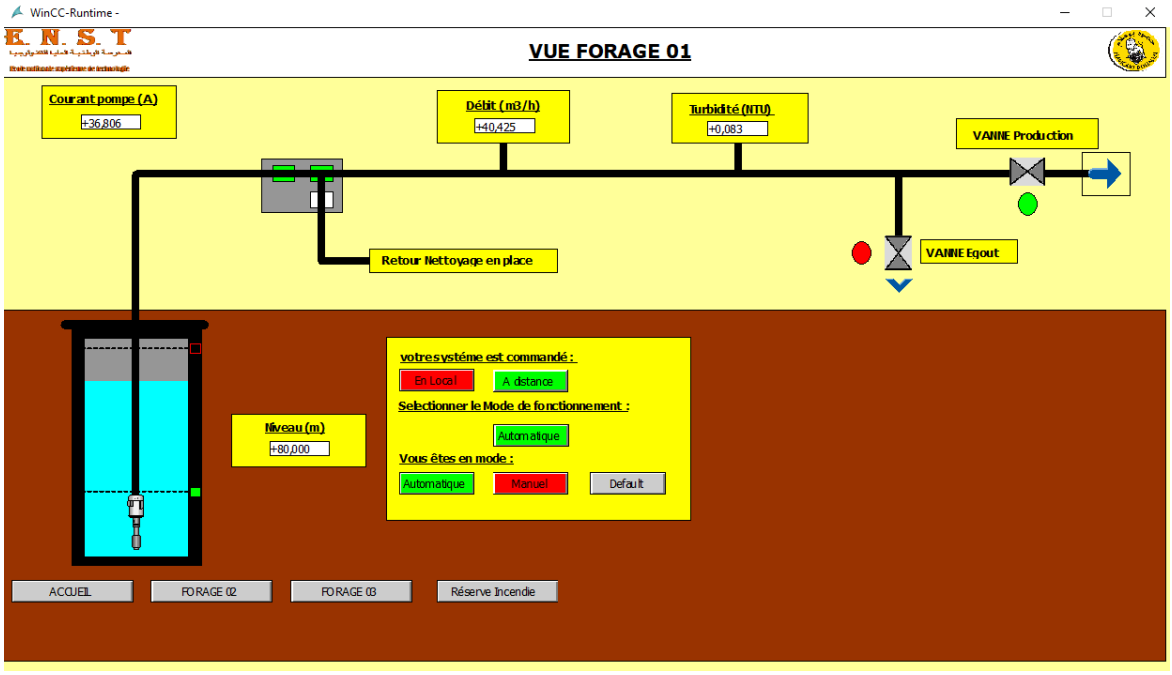


Fig. III.56 – Interface du forage 1 en mode distant automatique

Interprétations et remarques :

- Le bouton distant reste en vert et le mode local est en rouge car on est toujours dans le mode à distance.
- On appuie sur le bouton automatique, ce dernier devient vert signifions son activation et le bouton manuel tourne ne rouge car il est désactiver.
- On constate la disparition deux fenêtres (pompes et vanne pro/égout), car nous avons plus l'accès à effectuer des actions sur les vannes parce qu'elles sont commandées automatiquement.

III.8.3 Interface du forage 3

Toutes les interfaces des unités de forage sont identiques, sauf celle du forage 3, comme elle est responsable du réservoir d'incendie, Elle est donc équipée d'une ligne supplémentaire qui se dirige vers ce réservoir.

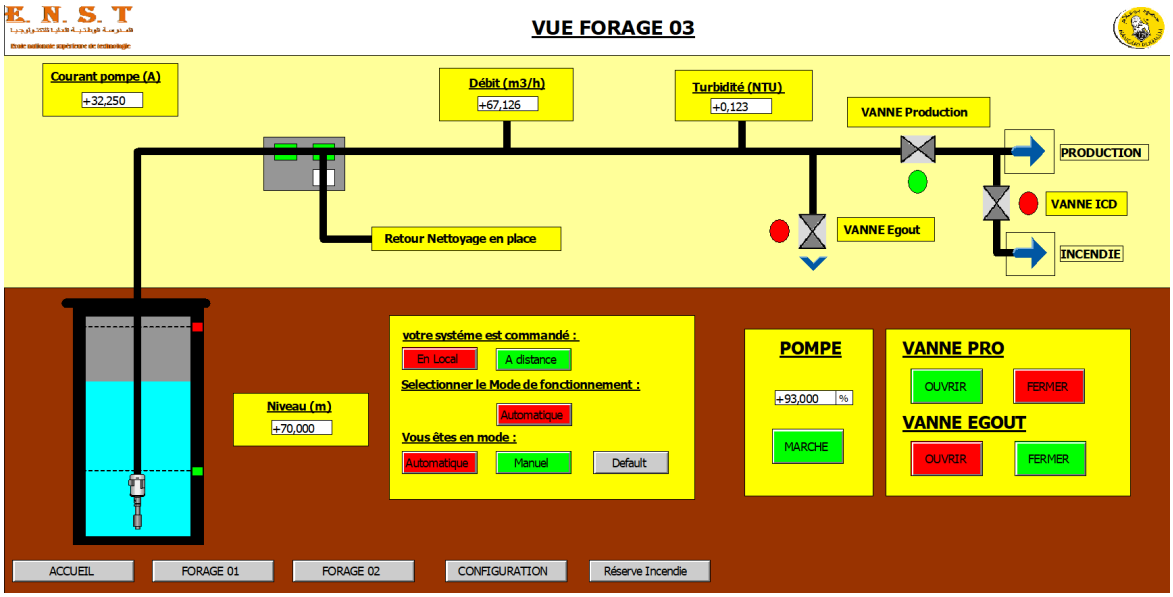


Fig. III.57 – Interface forage 3 en mode distant manuel

Interprétations et remarques :

- Dans cette vue on trouve toujours les mêmes boutons pour les modes de fonctionnement.
- Ce qui est en plus dans cette figure est l'état de la vanne d'incendie.

III.8.4 Réservoir d'incendie

Dans cette vue l'opérateur a la possibilité de visualiser le niveau d'eau dans le réservoir d'incendie et qui doit être toujours remplie.

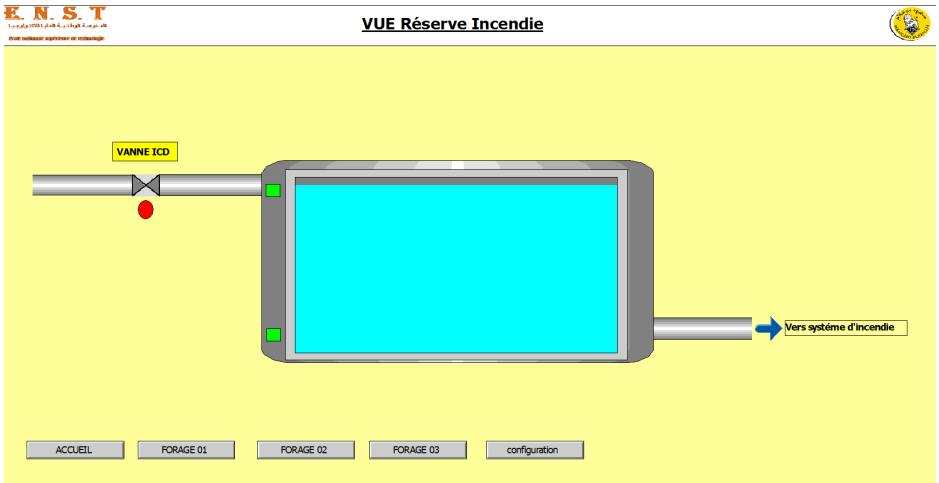


Fig. III.58 – Interface Réservoir d'incendie

Interprétations et remarques :

- Le réservoir d'incendie bénéficie d'une priorité absolue indépendamment du mode choisi.
- La vanne d'incendie est actuellement en position fermée, ce qui explique sa couleur rouge. Cette fermeture est due au fait que le réservoir d'incendie est plein.
- Lorsque le niveau d'eau du réservoir d'incendie commencera à diminuer, la Vanne d'incendie sera ouverte pour permettre le remplissage jusqu'à ce qu'il atteigne à nouveau le niveau haut.

III.9 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons procédé comme suit :

- Proposer des étapes simplifiées pour la réalisation d'un système SCADA.
- Détailler le code de ce projet en présentant les réseaux de programmation, et en renforçant chaque réseau par un schéma descriptif pour simplifier la logique du code.
- Présenter, simuler, et interpréter les interfaces graphiques créées (Les captures d'écran sont prises depuis le PC installé au sein de l'entreprise).

Conclusion générale

La réalisation d'un système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) dans le cadre de ce mémoire de projet de fin d'études a permis d'atteindre les objectifs fixés et de fournir une solution efficace pour la surveillance et le contrôle des processus des stations de forage de Hamoud Boualem, pour cela ce projet a été maintenu par l'entreprise.

L'étude du sujet a permis de comprendre les principes fondamentaux du SCADA, ses composantes essentielles ainsi que son architecture. La conception et la mise en œuvre du système SCADA ont nécessité une analyse des besoins spécifiques du processus industriel concerné, ainsi que l'intégration de différents éléments tels que les capteurs, les automates programmables et les interfaces utilisateur.

Ensuite, la programmation du système SCADA a été abordée. Les langages de programmation, tels que les langages de programmation spécifiques aux automates, ont été utilisés pour développer les différentes fonctionnalités du système. Un protocole de communication standard, qui est Profinet a été intégré pour assurer une communication fluide entre les différents composants du système SCADA.

L'intégration du système SCADA a considérablement amélioré l'efficacité et la productivité du processus industriel. En collectant en temps réel les données de divers points de contrôle, il est maintenant possible de surveiller précisément les variables clés, de détecter les anomalies et de prendre rapidement des mesures correctives, grâce à une interface graphique simple. De plus, la fonction de contrôle à distance permet une gestion plus souple et réactive des opérations.

Le système SCADA offre des possibilités de gestion avancées et une visualisation claire des données, permettant aux entreprises de prendre des décisions plus éclairées et de maximiser leur productivité. Il s'agit d'une technologie prometteuse qui continue d'évoluer et de s'adapter aux besoins de l'industrie moderne (industrie 4.0).

Enfin, la création d'un système SCADA est effectuée, en mettant l'accent sur son architecture, ses composants et sa programmation. La compréhension de ces aspects a permis de concevoir et de mettre en œuvre un système SCADA fonctionnel pour surveiller et contrôler les processus industriels. Cela optimise les opérations, favorise la prise de décision éclairée et augmente la productivité dans l'industrie.

Toutefois, la sécurité, la maintenance régulière et la formation du personnel sont essentielles pour assurer son bon fonctionnement à long terme.

Résumé

Le SCADA est devenu un élément essentiel dans les industries modernes, grâce à sa flexibilité et à ses avantages pour la supervision des différents processus, ce qui se traduit par une amélioration de l'efficacité. Il offre aux opérateurs une détection rapide des problèmes ainsi qu'une réaction immédiate grâce à la collection en temps réel des données provenant de capteurs et des API, réduisant les temps d'arrêt et augmentant la productivité.

Dans le cadre de notre projet fin d'étude et à travers ce mémoire nous avons montré comment on a réalisé avec succès un SCADA, en passant par la programmation de ses différents composants, et en assurant la connexion et la communication de ces derniers.

Mots clé : SCADA, Supervision, API, Capteurs, Communication

Abstract

SCADA has become an essential element in modern industries, thanks to its flexibility and advantages in supervising different processes, resulting in improved efficiency. It offers operators rapid problem detection and immediate reaction thanks to real-time collection of data from sensors and PLCs, reducing downtime and boosting productivity.

As part of our end-of-study project, and through this dissertation, we have shown how we have successfully implemented a SCADA system, going through the programming of its various components, and ensuring their connection and communication.

Keywords: SCADA, supervising, PLC, sensors, communication

ملخص

أصبح SCADA عنصرًا أساسيًا في الصناعات الحديثة بفضل مرونته وأفضليته في مراقبة عمليات مختلفة، مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة. يوفر كذلك للمشغلين كشفًا سريعًا للمشكلات واستجابة فورية من خلال جمع البيانات في الوقت الفعلي من المستشعرات جهاز تحكم منطقي قابل للبرمجَة، مما يقلل من أوقات التوقف ويزيد من الإنتاجية.

في إطار مشروعنا للتخرج ومن خلال هذه المذكرة، قمنا بعرض كيفية تنفيذنا لنظام SCADA بنجاح من خلال برمجة مكوناته المختلفة وضمان توصيلها وتواصلها.

كلمات مفتاحية: **SCADA، مراقبة، جهاز تحكم منطقي قابل للبرمجَة، المستشعرات، توصيل، تواصل**

Bibliographie

[1] "Filtration cvba - event - conception et dimensionnement." https://www.filtration.eu/fr/filtration-d-air/filtre-pour-event, Consulté le 26-05-2023.

[2] "ABT7pdu025g - phaseo - transformateur de tension - 230..400v - 2x115v - 250va | schneider electric algérie." https://www.se.com/dz/fr/product/ABT7PDU025G/phaseo-transformateur-de-tension-230-400v-2x115v-250va/, Consulté le 26-05-2023.

[3] "Acti 9 sectionneurs fusibles STI – professionnels | schneider electric france." https://www.se.com/fr/fr/product-range/61357-acti-9-sectionneurs-fusibles-sti/, Consulté le 26-05-2023.

[4] "Alimentation SITOP smart PSU100s, monophasée 24 v DC siemens | mabéo direct." https://www.mabeo-direct.com/A-502375-siemens-alimentation-sitop-smart-psu100s-monophasee-24-v-dc, Consulté le 26-05-2023.

[5] "Thermostat d'armoire électrique & hygrostat électronique." https://www.achat-electrique.com/fr/41-thermostat-armoire-electrique, Consulté le 26-05-2023.

[6] "hach product search, turbidimletre ntu 1720E." https://mena.hach.com/quick.search-quick.search.jsa?keywords=turbidimletre+NTU, Consulté le 26-05-2023.

[7] "III.4.1 historique de l'API." https://www.institut-numerique.org/iii41-historique-de-lapi-4e1b375ea28df, Consulté le 03-06-2023.

[8] "automates SIMATIC s7-1200 - industry support siemens," Consulté le 03-06-2023.

[9] "Automate programmable industriel ts crsa. fr-fr.." https://www.google.com/url?q=http://bts.crsa.rascol.free.fr/Automatismes/cours/Les%255C%2520Automates%255C%2520Programmables%255C%2520Industriels.pdf&sa=D&source=apps-viewer-frontend&ust=1687388842873495&usg=AOvVaw1yPwREOrkUuwffOI_cGq7s&hl=fr, Consulté le 02-06-2023.

[10] "Automates programmables industriels - langage LD." https://www.uvt.rnu.tn/resources-uvt/cours/Automates/chap2/co/Module_chap2_17.html, consulté le 07-06-2023.

[11] J.-M. CHARTRES, "Supervision : outil de mesure de la production," vol. 2, no. R7630, pp. R7630–1, 1997.

[12] S. J. Sosik, "Scada systems in wastewater treatment," *Process-Logic, Whitepaper*, 2007.

[13] R. Glaa and M. N. Lakhoua, "Methodology of analysis and design of a scada system," in *2014 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM)*, pp. 1–7, Nov 2014.

[14] D. J. Hart, "An approach to vulnerability assessment for navy supervisory control and data acquisition (scada) systems," tech. rep., NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA, 2004.

[15] R. J. Robles, M. Choi, E. Cho, S. Kim, G. Park, and S.-S. Yeo, "Vulnerabilities in scada and critical infrastructure systems," vol. 1, no. 1, pp. 99–104, 2008.

[16] M. S. Thomas, P. Kumar, and V. K. Chandna, "Design, development, and commissioning of a supervisory control and data acquisition (scada) laboratory for research and training," *IEEE Transactions on power systems*, vol. 19, no. 3, pp. 1582–1588, 2004.

[17] N. Arghira, D. Hossu, I. Fagarasan, S. S. Iliescu, and D. R. Costianu, "Modern scada philosophy in power system operation-a survey," *University" Politehnica" of Bucharest Scientific Bulletin, Series C : Electrical Engineering*, vol. 73, no. 2, pp. 153–166, 2011.

[18] K. Stouffer, J. Falco, and K. Kent, "Guide to supervisory control and data acquisition (scada) and industrial control systems security," vol. 800, p. 82, 2006.

[19] "Tout savoir sur les systèmes SCADA." https://www.factoryfuture.fr/tout-savoir-systemes-scada/,Consulté le 01-06-2023.

[20] "Tout savoir sur l'architecture et les types de systèmes SCADA avec applications-electron-FMUSER fournisseur unique de diffusion FM/TV." https://fr.fmuser.net/content/?15407.html, Consulté le 01-06-2023.

[21] A. Sense, "Les réseaux industriels ou bus de terrain." https://www.automation-sense.com/blog/les-protocoles-reseaux-industriels.html, Consulté le 11-06-2023.

[22] "OSI model french." https://www.perimeter81.com/fr/glossary/modele-osi, Consulté le 10-06-2023.

[23] "Couches de modèle OSI : un guide d'introduction - geekflare." https://geekflare.com/fr/osi-model-network-layers/, Consulté le 11-06-2023.

[24] V. Harun Şahin, Özçelik, M. Balta, and M. İskefiyeli, "Topology discovery of profinet networks using wireshark," in *2013 International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, pp. 88–91, 2013.

[25] "PROFINET : la norme de communication sécurisée dans les réseaux industriels – bürkert." https://www.burkert.fr/fr/services-et-assistance/telechargement-et-information/glossaire/PROFINET-la-norme-de-communication-securisee-dans-les-reseaux-industriels, Consulté le 11-06-2023.

[26] "PROFINET, standard de communication en automatisation| profibus." https://www.profibus.fr/technologies-bus-reseaux/profinet/, Consulté le 11-06-2023.

[27] “10 bonnes raisons d’utiliser le protocole profinet.” https://iotindustriel.com/autres/normes-protocoles/10-bonnes-raisons-dutiliser-le-protocole-profinet/, Consulté le 11-06-2023.

[28] “Siemens automation,TIA portal.”

[29] “Siemens automation, SIMATIC WinCC RT professional.”

[30] “Siemens Automation ,support d’apprentissage/de formation,principes de base de la programmation de FB avec simatic s7-1200.” https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/basics-programming-s7-1200/sce-031-200-fb-programming-s7-1200-r1709-fr.docx, Consulté le 04-06-2023.

[31] “Simatic ,système de conduite de process pcs 7 ,systèmes de conduite de process à haute disponibilité (v7.1).” https://cache.industry.siemens.com/dl/files/737/36191737/att_90853/v1/ps7red_c_fr-FR.pdf, Consulté le 07-06-2023.

[32] “Support industry siemens.” https://support.industry.siemens.com/cs/document/89852595/in-wincc-(tia-portal)-how-do-you-configure-a-connection-between-wincc-runtime-advanced-or-hmi-panel-?dti=0&lc=en-AR, Consulté le 01-06-2023.