



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

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance de l'automatisme et de l'instrumentation

Thème

**Développement d'un système de contrôle-commande et de
Supervision IHM d'une chaudière à tube d'eau**

Présenté et soutenu publiquement par :

Beneddine Abderrahim et Douba Mohamed

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Établissement	Qualité
Guendouz Djilalia	MCA	IMSI-Univ. D'Oran2	Présidente
Titah Mawloud	MCA	IMSI-Univ. D'Oran2	Examineur
Herarsi Nour El Houda	MAA	IMSI-Univ. D'Oran2	Encadrante
Amrane Mohamed	Ingénieur	Complexe GP1/Z Sonatrach	Co-Encadrant

Année : 2025/2026

Remerciements

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Nous remercions tout d'abord, Allah le plus puissant de nous avoir donné la force et le courage pour terminer nos études et élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.

Nous tenons à remercier particulièrement notre encadrante Herarsi Nour El Houda, pour nous avoir suivi et conseillé tout au long de la réalisation de ce mémoire, pour sa disponibilité, sa patience et ses précieux encouragements.

Nous tenons à remercier tout le personnel de la société SONATRACH GP1Z qui nous a permis de réaliser notre stage dans les meilleures conditions. Nous adressons également nos sincères remerciements à l'ensemble des ingénieurs khelifa Madjid, Mohamed Madjid, Amrane Mohamed du département pour leur collaboration, leur disponibilité et leurs précieux conseils lors de notre stage pratique.

Nous n'oublions pas de remercier tous nos amis surtout Benziane matallah Aymen pour leurs encouragements, leur soutien moral et leur présence tout au long de ce parcours académique.

Enfin, ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien indéfectible des membres de nos familles, et tout particulièrement notre maman et notre père, qui nous ont toujours encouragés, soutenus et crus en nous. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude et de notre amour sincère.

Dédicace

À mon Père,

Je dédie ce modeste travail à mon **père**, qui a toujours été mon pilier et ma source d'inspiration. Tu m'as toujours encouragé et soutenu dans les moments difficiles comme dans les moments de joie. Merci pour ta patience, tes sacrifices et ton amour inconditionnel. Tu m'as appris les vraies valeurs de la vie, l'honnêteté, le travail et la persévérance. Puisse Dieu te garder en bonne santé et te combler de bonheur.

À ma Mère,

La personne la plus chère à mon cœur. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour tous les sacrifices que tu as consentis pour mon instruction et mon bien-être. Je te remercie pour ton soutien, ta tendresse et l'amour que tu me portes depuis ma naissance. Ce modeste travail est le fruit de tes innombrables sacrifices et de tes prières. Que Dieu te préserve et t'accorde santé, bonheur et longue vie.

À mes chères sœurs Fatima, Kawtar et Khadija,

Qui ont toujours été là pour moi avec toute leur affection et leur soutien. Votre présence a été une lumière dans ma vie. Je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour fraternel sincère. Que Dieu vous protège et vous accorde tout le bonheur que vous méritez.

À tous mes amis,

À tous ceux qui ont partagé avec moi les meilleurs moments de ma vie estudiantine, qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mon cursus. Merci pour votre amitié sincère, votre bonne humeur et votre solidarité. Ce travail est également le vôtre.

À toutes les personnes que j'aime et ceux qui m'aiment.

BENEDDINE Abderrahim

Dédicace

À mes chers parents, À mon père et à ma mère, pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices infinis et votre soutien indéfectible tout au long de mon parcours. Vous avez toujours cru en mes capacités et vous m'avez donné la force de me surpasser. Ce diplôme est avant tout le fruit de vos prières et de votre dévouement. Que Dieu vous préserve, vous accorde une santé de fer et une longue vie à mes côtés.

À mes frères et ma sœur, À mes frères, **Ismail** et **Ahmed** pour leur complicité, leur présence et leurs encouragements dans les moments les plus intenses de ce projet. À ma chère sœur, **Aicha** pour sa tendresse, son soutien quotidien et sa capacité à toujours me redonner le sourire. Vous êtes ma source de motivation et ma plus grande fierté.

À mes précieux amis, À mes fidèles compagnons de route avec qui j'ai partagé les bancs de l'université, les nuits blanches de révision, les défis de ce projet et les éclats de rire. Merci pour votre amitié sincère et pour avoir rendu ces années universitaires inoubliables.

À tous ceux qui m'aiment et qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, je vous dis merci du fond du cœur.

DOUBA MOHAMED

Table des matières

Table des matières

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre I

Généralités sur l'Automatisme et la Supervision Industrielle

I.1. Introduction	5
I.2. Présentation des systèmes de production automatisés (SAP)	6
I.2.1 Définition :	6
I.2.2 Rôle des systèmes de production automatisés (SAP) dans l'industrie.....	6
I.2.3. Structure d'un SAP	6
I.2.4 Partie opérative (PO).....	7
I.2.5. Partie commande (PC)	9
I.3 Les Automates Programmables industriels (API) :	9
I.3.1. Nature des informations traitées par l'automate	9
I.3.2. Structure et description des éléments d'un API :	10
I.3.3. Principe de fonctionnement d'un API	11
I.3.4. Domaines d'application des API	12
I.3.5. Types d'Automates Programmables Industriels.....	12
I.3.6. Langages de programmation pour API	14
I.3.7. Choix de l'automate	15
I.3.8. Programmation des API	16
I.3.8.1. Logiciels de programmation TIA Portal	16
I.3.8.2. Création d'un projet et configuration d'une station de travail :	17
I.4. Protocole employé dans un environnement SCADA	22
I.4.1. Protocole Profibus.....	22
I.4.2. Le réseau local industriel PROFINET :	23
I.5. Supervision industrielle (SCADA / IHM).....	24
I.5.1. Supervision industrielle.....	24
I.5.1.1. Principe de la supervision :	25
I.5.1.2. Les avantages de la supervision :	25
I.5.2. SCADA :	26

Table des matières

I.5.2.1. Fonction de base du SCADA	26
I.5.2.2. Architecture du SCADA.....	27
I.5.2.3. Composants de base d'un système SCADA :	28
I.5.2.4. Avantage du système SCADA.....	28
I.5.3. Interface homme-machine (IHM) :	29
I.5.3.1. Fonctionnalités de l'IHM	29
I.5.3.2. Les avantages d'une IHM	30
I.5.3.3. Différence entre SCADA et IHM.....	30
I.6. Logiciel de développement d'IHM : WINCC Flexible.....	30
I.6.1. Composants de la fenêtre principale de WinCC flexible	30
I.6.1.1. WinCC flexible Runtime.....	31
I.6.1.2. Étapes de mise en œuvre	31
I.7. Objectif à atteindre.....	32
Conclusion.....	33

Chapitre II

Présentations du cadre industriel et du système étudié

II.1. Introduction.....	35
II.2. Présentation du complexe GP1/Z « JUMBO ».....	35
II.2.1. Historique et missions.....	35
II.2.2. Situation géographique :	35
II.2.3. Les installations principales sont :	35
II.2.4. Organisation du complexe	36
II.3. Description du cadre industriel complexe GP1/Z « JUMBO »	37
II.3.1. Procédé de liquéfaction du GPL	37
II.3.1.1. Prétraitement de la charge.....	38
II.3.1.2. Section de déshydratation :	39
II.3.1.3. Section de séparation	40
II.3.1.4. Section réfrigération.....	41
II.3.1.5. Section de l'huile chaude	42
II.3.1.6. Section de stockage des produits finis	43
II.4. Description du système industriel de contrôle au GP1Z :	45
II.4.1. Le système d'expédition et d'enlèvement.....	45

Table des matières

II.4.2. Le système des utilités (Utilities).....	45
II.4.3. Le système de sécurité et de protection de l'environnement.....	45
II.4.4. Le système de contrôle DCS (Distributed Control System) :	46
II.4.4.1 Présentation du TDC 3000	46
II.4.4.2. Description du réseau de commande LCN	47
II.4.4.3. Le Système Experion PKS™ Honeywell	47
II.4.5. Le Système Triconex	48
II.4.5.1. Le système CCC (Compresseur Control Corporation)	48
II.4.5.2. Les Détecteurs de Gaz	48
II.4.6. Système de production de vapeur	48
II.5. Contraintes industrielles et normes de sécurité (, API, etc.)	49
II.5.1. Cadre Réglementaire et Risques Majeurs (GP1Z).....	49
II.5.2. Normes Américaines (API) : L'intégrité des équipements	49
II.5.3. Normes Internationales (ISO) : Management et Laboratoire	49
II.5.4. Normes Internationales (CEI/IEC) : Systèmes instrumentés de sécurité	50
II.6. Problématique et cahier des charges	50
II.6.1. Problèmes constatés avant le stage	50
II.6.2. Besoins exprimés par l'entreprise.....	51
II.6.3. Objectifs techniques à atteindre	51
II.7. Etude technique du système étudier (Chaudière à tube d'eau).....	52
II.7.1. Le fonctionnement du système étudier	52
II.7.1.1. Présentation.....	52
II.7.1.2. Principe de fonctionnement des chaudières à tubes d'eau.....	53
II.7.1.3. Les principaux circuits d'une chaudière à tubes d'eau	54
II.7.1.4. Circuit de production de vapeur (eau/vapeur)	54
II.7.1.5. Circuit de combustion Air/Gaz	54
II.7.2. Les composants du system étudier.....	55
II.7.2.1 Actionneurs et sorties (Vannes Solénoïdes & Registre.....	55
II.7.2.2. Limit switches & capteurs tout-ou-rien	56
II.7.2.3. Vannes de régulation & solénoïdes	58
II.7.2.4. Transmetteurs & capteurs analogiques.	58
II.8. Choix des solutions techniques.....	61

Table des matières

II.8.1. Choix de l'API.....	61
II.8.2. Choix des logiciels.....	61
II.8.3. Choix de l'IHM (Interface Homme-Machine).....	62
II.8.4. Protocole de communication	62
II.8.5. Simulation du système par PLC SIM	62
II.9. Conclusion	63

Chapitre III

Architecture de commande et de supervision du système

III.1. Introduction	65
III.2. Description technique du système étudié	65
III.2.1. Fonctionnement opérationnel de la chaudière à tubes d'eau Phase 2	65
III.2.2. Séquence de démarrage à froid.....	66
III.2.3. Organigramme générale de fonctionnement.....	69
III.3. Programmation de la commande	69
III.3.1. Création d'un projet et la configuration matérielle :	69
III.3.1.1. Création d'un nouveau projet :	69
III.3.1.2. La configuration matérielle :	70
III.3.2. Table des variables (Entrées / sorties) Actionneurs Capteurs Relais	71
III.3.3. Développement du programme de commande	71
III.3.4. Présentation d'architecture de programmation au tia portal.....	72
III.3.5Présentation des blocs.....	73
III.3.6. Blocs du programme.....	74
III.3.6.1. OB1 « Programme Cyclique » :	74
III.3.6.2. OB30 &OB31 « Cyclic interrupt » :.....	75
III.3.6.3. Les fonctions FC :.....	76
III.3.6.4. Bloc fonctionnel FB :	81
III.3.6.5. Bloc de données DB :	86
III.3.7. Gestion des sécurités et des défauts.....	87
III.3.7.1. Sécurités intégrées dans le programme de commande	87
III.3.7.2. Le Relay Interlock RI (%M2.7) — Verrou central	88
III.3.7.3. Sécurités liées à la flamme	88
III.3.7.4. Sécurités liées à la pression vapeur	89

Table des matières

III.3.7.5. Sécurités liées à la purge et au niveau eau.....	89
III.3.7.6. Sécurités gaz — Pré-alarme RAN1	90
III.3.8. Simulation sous tia portal	90
III.4. Stratégie de contrôle de la chaudière	93
III.4.1. Régulation de la Pression de ballon supérieur (Boucle PICA).....	93
III.4.2. Régulation de niveaux de ballon supérieur (Boucle LICA)	94
III.4.2.1. Principe de la Régulation à Deux Éléments	94
III.4.2.2. Mise en Œuvre au programme de LICA	95
III.4.3. Procédures d'arrêt d'urgence.....	96
III.4.3.1. Procédure d'arrêt normal.....	96
III.4.3.2. Sécurités et arrêts d'urgence	96
III.5. Supervision et IHM du système étudier	96
III.5.1. Communication API – IHM	96
III.5.2. Réseau industriel (Protocole de communication).....	97
III.5.3. IHM développée sous WinCC (TIA Portal)	98
III.5.3.1. Les variables utilisées dans l'IHM :.....	98
III.5.3.2. Écran 1 — Contrôle Principal (Pression & Niveau).....	98
III.5.3.3. Écran 2— Synoptique de la Chaudière (Boiler).....	99
III.5.3.4. Écran 3 — Alarmes et Défauts	100
III.5.3.5. Écran 4 — Journal des Alarmes	101
III.5.3.6. Écran 5 — Supervision des Pompes d'injection des produit chimiques	102
III.6. Discussion des résultats obtenus	103
III.6.1. Résultats de la programmation de la commande	103
III.6.2. Résultats de la supervision et de l'IHM	103
III.6.3. Perspectives	104
III.7. Conclusion.....	104
Conclusion Générale	105
Références bibliographiques	106
ANNEXE.....	109

Liste des figures

Chapitre I

Figure I. 1: Système automatisé	5
Figure I. 2: Approche Globale D'un Système De Production	6
Figure I. 3: La structure d'un SAP	7
Figure I. 4 : Différents capteurs d'un système automatisée	8
Figure I. 5: Opération interne dans API.....	9
Figure I. 6: La structure de l'api.....	11
Figure I. 7:Fonctionnement interne de l'api	11
Figure I. 8: Automate de type modulaire.....	13
Figure I. 9: Automate de type compact	13
Figure I. 10: Automate de type sécurité.....	14
Figure I. 11: Principe du grafcet	15
Figure I. 12: Interface du logiciel tia portal.....	16
Figure I. 13: fenêtre de projet	17
Figure I. 14: création d'un projet	18
Figure I. 15: Première méthode de configuration et paramétrage du matériel	19
Figure I. 16: Deuxième méthode de configuration et paramétrage du matériel	19
Figure I. 17: compilation et chargement du programme	20
Figure I. 18: Illustration de la composition logicielle de tia portal	21
Figure I. 19: les types de protocole profibus	22
Figure I. 20: Les 4 protocoles de communication industriels les plus utilisés dans le Monde industriel.....	24
Figure I. 21: Supervision des procédés industrielle.....	25
Figure I. 22: Schéma Synoptique.	26
Figure I. 23: Architecture du SCADA.	27
Figure I. 24: Les composants du système scada.	28
Figure I. 25: Interface IHM	29
Figure I. 26: Fenêtre principale de Wincc flexibl.....	31

Chapitre II

Figure II. 1: Organigramme du complexe Gp1z	36
Figure II. 2: Schema Procédé de liquéfaction du GPL	38
Figure II. 3: Représentation de la section stockage de la charge.....	39
Figure II. 4: Schéma représentatif de la section déshydrations	40
Figure II. 5: Schema du Franchionnateur	41
Figure II. 6: Schema représentatif de la section réfrigération	42
Figure II. 7: Section de l'huile chaude	43
Figure II. 8: Stockage de propane et de butane	44
Figure II. 9: Architecture du Honeywell DCS TDC 3000.....	47
Figure II. 10: Chaudière à tube d'eau.....	52
Figure II. 11: Schema d'une chaudière à tube d'eau avec surchauffeur	53

Listes des figures

Figure II. 12: Schéma d'une chaudière à tube d'eau	54
Figure II. 13: Vue de la structure interne d'une chaudière à tube d'eau.....	55
Figure II. 14: Description de la chaudière	59
Figure II. 15: transmetteur de gaz PTH	60
Figure II. 16: Détecteur de Flamme	60
Figure II. 17: Vanne de Régulation Débit Gaz Combustible.....	60
Figure II. 18: ITX transformateur élévateur	60
Figure II. 19: La rampe de régulation et de détente de gaz	61

Chapitre III

Figure III. 1: Organigramme générale de fonctionnement	69
Figure III. 2: Configuration matériel	71
Figure III. 3: Table des variables	71
Figure III. 4: Exemple d'un schéma électrique en logique câblée	72
Figure III. 5: Présentation des blocks	73
Figure III 6:[OB1] Appelle des blocks	74
Figure III. 7: Régulateur de niveau [PICA].....	75
Figure III. 8 : Régulateur de Niveau [LICA].....	76
Figure III. 9: Réseaux 1 à 4 sur 8 du bloc FC2 : Pressurisation du panneau de contrôle.....	77
Figure III. 10: Réseaux du bloc FC1 : Commande des contacteurs du ventilateur, de la pompe et de l'agitateur	78
Figure III. 11: [FC3] réseaux 2, 3 interlocks	79
Figure III. 12: [FC3] réseaux 5, Allumage de pilot [VGP1], [VGP2].....	80
Figure III. 13: [FC3] réseaux 6, Allumage de Bruleur [VG1], [VG2]	81
Figure III. 14: Mise en échelle des capteurs analogiques du bloc FB1	82
Figure III. 15: Mise en échelle de la vanne FCV et [AIR Dumper]	83
Figure III. 16: Mise en échelle de la vanne LCV ET MCV	84
Figure III. 17: Minuteur mécanique à cames.....	84
Figure III. 18: [FB1] RESEAUX 1Minuteur rétentive.....	85
Figure III. 19: Diagramme temporel des contacts de commande M1 à M8.....	85
Figure III. 20: [FB1] Activation et désactivation des contact M1	86
Figure III. 21: les blocs [DB30], [DB29]	87
Figure III. 22: Gestion des sécurités.....	87
Figure III. 23: Le Relay Interlock RI.....	88
Figure III. 24: Sécurités liées à la flamme.....	89
Figure III. 25: Sécurités liées à la pression vapeur.....	89
Figure III. 26: Sécurités liées au niveau eau.....	90
Figure III. 27: Sécurités gaz, Pré-alarme RAN1	90
Figure III. 28: lancement de simulation va Plc Sim	91
Figure III. 29: Visualisation des blocs	92
Figure III. 30: Régulateur de pression PICA.....	93

Listes des figures

Figure III. 31: sortie de pid vers FCV ET REGISTRE D'AIRE.....	94
Figure III. 32: Régulateur de niveau LICA	95
Figure III. 33: liaison entre PLC et IHM.....	97
Figure III. 34: table des variable IHM.....	98
Figure III. 35: Écran -1de Control Principal	99
Figure III. 36: Écran-2 Synoptique de la Chaudière (Boiler).....	100
Figure III. 37: Ecran-3 d'identification d'états.....	101
Figure III. 38: Écran-4 Journal des Alarmes.	102
Figure III. 39: : Écran-5 Supervision des Pompes d'injection des produit chimiques	103

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1: Principaux éléments (contacts et bobines) d'un réseau LD.....	14
---	----

Chapitre II

Tableau II. 1: La modernisation du système automate et IHM	51
Tableau II. 2 Objectifs techniques à atteindre	51
Tableau II. 3: ACTIONNEURS ET SORTIES (Vannes Solénoïdes & Registre).....	56
Tableau II. 4: LIMIT SWITCHES & CAPTEURS TOUT-OU-RIEN (Entrées Digitales DI).....	57
Tableau II. 5: VANNES DE RÉGULATION	58
Tableau II. 6: TRANSMETTEURS & CAPTEURS ANALOGIQUES (Mesure continue).	59
Tableau II. 7: Transformateur ITX et la vanne PCV	59

Chapitre III

Tableau III. 1: Séquence de démarrage	68
Tableau III. 2: Présentation des blocs	74
Tableau III. 3: Les capteurs analogiques du bloc FB1	83
Tableau III. 4: Les actionneurs Utilisés	83
Tableau III. 5: Protocol de communication	97
Tableau III. 6: Table d'identification d'états.....	101

Liste des abréviations

API : Automate Programmable Industriel

IHM / HMI : Interface Homme-Machine / Human-Machine Interface

CPU : Unité Centrale de Traitement

SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition

TIA Portal : Totally Integrated Automation Portal.

DCS : Distributed Control System (Système de Contrôle Commande Distribué)

PID : Proportionnel, Intégral, Dérivé (Algorithme de régulation)

SAP : Système de Production Automatisé

LAD : le langage graphique Ladder.

PC : Partie Commande

PO : Partie Opérative

Profibus PA : Process Field Bus Process Automation

OB : Organisation Block (Bloc d'organisation dans TIA Portal)

FC : Fonction (Fonction ou bloc logique sans mémoire)

FB : Fonction Block (Bloc fonctionnel avec mémoire de données)

DB : Data Block (Bloc de données globales ou d'instance)

RI : Relay Interlock (Verrouillage central ou relais d'interverrouillage de sécurité %M2.7)

UV : Ultraviolet

ESD : Emergency Shut Down (Système d'arrêt d'urgence industriel)

BMS : Burner Management System (Système de gestion et de sécurité des brûleurs)

GP1Z : Complexe industriel de Sonatrach à Arzew.

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

GNL : Gaz Naturel Liquéfié

BOG : Boil-Off Gas (Vapeurs de gaz d'évaporation récupérées des bacs de stockage)

ITX : Transformateur d'Allumage / Ignition

TAG : Identifiant ou repère normalisé d'un instrument d'après les plans P&ID

FCV : *Flow Control Valve* (Vanne de régulation de débit)

Résumé :

Au sein du complexe industriel **Sonatrach GP1Z**, la vapeur joue un rôle crucial dans les différentes unités de traitement des hydrocarbures. Elle est produite par des générateurs de vapeur et des chaudières industrielles dont le fonctionnement nécessite une précision rigoureuse pour garantir la sécurité et l'efficacité de la production.

À l'aide du logiciel **TIA Portal**, notre travail a consisté à automatiser et à optimiser le contrôle du fonctionnement d'une chaudière industrielle. Afin d'améliorer le suivi et la surveillance en temps réel, nous avons développé des interfaces graphiques (HMI) et des stratégies de régulation PID permettant de visualiser et de piloter l'ensemble du processus de manière intuitive.

Mots clés :

TiaPortal, WINCC, HMI, régulation PID, vapeur, chaudière à tube d'eau.

Abstract:

Within the Sonatrach GP1Z industrial complex, steam plays a crucial role in the various hydrocarbon processing units. It is produced by steam generators and industrial boilers, whose operation requires strict precision to ensure the safety and efficiency of production.

Using the TIA Portal software, our work consisted of automating and optimizing the control of an industrial boiler's operation. To improve real-time monitoring and supervision, we developed graphical interfaces (HMI) and PID control strategies that allow the entire process to be visualized and managed in an intuitive way.

Keywords:

TiaPortal, WINCC, HMI, PID control, steam, water-tube boiler

ملخص:

في مجمع سوناطراك الصناعي (GP1Z)، يُعدّ البخار عنصراً تشغيلياً بالغ الأهمية في منظومة معالجة المحروقات، إذ تعتمد عليه مختلف الوحدات الصناعية اعتماداً مباشراً في تحقيق الكفاءة التشغيلية المطلوبة. ويتم إنتاجه عبر مولدات البخار والغلايات الصناعية، التي تستلزم إدارتها مستوىً عالياً من الدقة والضبط المستمر، لضمان سلامة المنشأة واستمرارية الإنتاج وفق المعايير الصناعية المعتمدة.

في إطار هذا المشروع، وباعتماد على منصة البرمجة **TIA Portal**، تمثّل هدفنا الرئيسي في تصميم وتنفيذ منظومة أتمتة متكاملة للتحكم في تشغيل غلاية صناعية، بما يكفل تحسين الأداء وتعزيز موثوقية العملية وتقليل التدخل اليدوي في المراحل الحرجة. وقد اشتملت المنهجية المتبعة على برمجة وحدات التحكم المنطقي القابلة للبرمجة **PLC** وفق متطلبات العملية، إلى جانب تطوير واجهات الإنسان والآلة **HMI** التي توفر للمشغلين رؤية شاملة وفورية لجميع المعاملات التشغيلية. فضلاً عن ذلك، تم تصميم حلقات تنظيم **PID** المتقدمة للتحكم الدقيق في المتغيرات الحيوية كالضغط ودرجة الحرارة ومستوى الماء، مما يضمن استقرار العملية وسلامة التشغيل في مختلف ظروف التشغيل.

الكلمات المفتاحية:

TiaPortal، **WINCC**، واجهة المستخدم البشرية (**HMI**)، تنظيم **PID**، البخار، غلاية بأنبوب ماء

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le secteur de l'énergie et de la pétrochimie est crucial et représente un atout essentiel pour l'Algérie dans la mesure où il soutient l'économie nationale et alimente les exportations stratégiques du pays ; il permet d'assurer la valorisation des ressources hydrocarbures tout en garantissant une efficacité industrielle sans faille.

Le secteur industriel pétrochimique algérien est confronté à des exigences de performance, de fiabilité et de sécurité accrues en raison de l'évolution des standards technologiques et de la nécessité d'optimiser les processus de production.

Le complexe industriel Sonatrach GP1Z poursuit un plan de modernisation et de développement afin de renforcer son efficacité opérationnelle. Ainsi, des progrès importants sont réalisés grâce à des initiatives de modernisation et de grande envergure. Il convient de noter que les progrès technologiques jouent un rôle important et stimulent l'amélioration de la sécurité et de la productivité, pour laquelle le groupe Sonatrach réalise d'importants investissements en équipements d'automatisation et d'instrumentation de pointe. Par exemple, la rénovation du système de contrôle d'un générateur de vapeur, qui est le thème de notre projet de fin d'études, s'inscrivent parfaitement dans cette dynamique.

La problématique de notre étude tient en cela que la vapeur d'eau est un besoin répandu dans de nombreuses unités de raffinage et de liquéfaction. Dans les procédés industriels chimiques et pétrochimiques, la vapeur est un fluide énergétique très utilisé dès qu'il s'agit de chauffer, de maintenir des températures de réaction ou d'alimenter des utilités industrielles.

Nombreuses étapes du processus au sein du complexe Sonatrach GP1Z nécessitent la vapeur d'eau produite grâce à la chaleur dégagée par la combustion. Cette dernière est assurée par le générateur de vapeur, et plus précisément dans notre cas, par une chaudière à tubes d'eau.

Les domaines d'utilisation de la vapeur comprennent les raffineries, les complexes de gaz liquéfié (GNL), les industries pétrochimiques, etc. Elle est utilisée pour créer de l'énergie, maintenir les conditions thermiques des colonnes de distillation, ou encore assurer les transferts thermiques dans les échangeurs.

Notre objectif est d'entreprendre une analyse approfondie et complète de ce projet de modernisation, qui consiste à transférer le système de commande de la chaudière à tubes d'eau d'une logique câblée traditionnelle vers une logique programmée. Cette transition est matérialisée par l'intégration d'un automate Siemens de dernière génération, le CPU 1511-1 PN, connu pour sa grande souplesse, sa fiabilité et sa capacité à satisfaire les exigences industrielles strictes. En outre, ce passage à la logique programmée permet une régulation précise des paramètres critiques de la chaudière et une gestion optimale des sécurités. Et finalement, la supervision, le développement de l'interface homme-machine (IHM) et la simulation du système sont entièrement développés sous l'environnement intégré TIA Portal.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres présentés séquentiellement :

Introduction générale

- **Chapitre 01** : sera dédié aux généralités sur l'architecture de commande et de supervision des systèmes industriels. Il présentera les systèmes de production automatisés (parties opérative et commande), les critères de choix d'un API, ainsi que l'introduction à l'environnement de développement **TIA Portal**. Une partie sera également consacrée aux stratégies de contrôle (régulation, alarmes, sécurités) et aux concepts fondamentaux de la supervision industrielle (SCADA/IHM).
- **Chapitre 02** : contiendra une présentation générale de l'entreprise d'accueil, le complexe **Sonatrach GP1Z**, suivie d'une description technique et d'une analyse approfondie de notre système industriel : la **chaudière à tubes d'eau**. Ce chapitre exposera également la problématique liée à la transition de l'ancienne logique câblée, le cahier des charges de modernisation, ainsi que le choix des solutions techniques matérielles et logicielles retenues.
- **Chapitre 03** : sera consacré à la réalisation de l'architecture de commande, de régulation et de supervision de la chaudière. Il détaillera la description technique du système (organigramme, table des variables E/S, capteurs et actionneurs), le développement des programmes de commande et des boucles de régulation sous l'automate **Siemens S7-1511 PN**, ainsi que la création des interfaces graphiques de l'IHM. Enfin, ce chapitre se clôturera par la simulation du système et la discussion des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale clôturera notre mémoire.

Chapitre I

Généralités sur l'Automatisme et la Supervision Industrielle

I.1. Introduction

L'automatisme est l'ensemble des technologies utilisant l'électronique, l'électrotechnique, la mécanique, la télécommunication afin de concevoir des machines ou des processus qui peuvent fonctionner sans ou avec peu d'intervention humaine. L'automatisme industriel se réfère à l'application de ces différentes technologies et méthodes pour contrôler, optimiser et automatiser les opérations industrielles.

Un système automatisé est un système qui exécute des tâches de manière autonome, et dans lequel l'homme n'intervient que dans la programmation et la configuration du système.

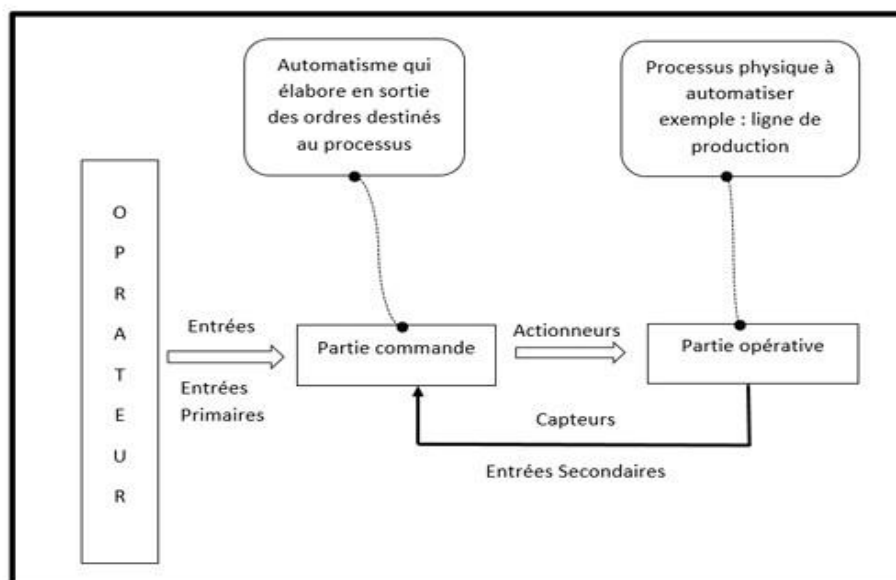


Figure I. 1: Système automatisé

L'automatisation fait référence à l'amélioration des processus industriels grâce à l'utilisation des systèmes automatisés. Elle est indispensable dans l'industrie moderne, et cela du fait qu'elle permet de :

- Augmenter la productivité et l'autonomie
- Améliorer les conditions de travail et simplifier certaines opérations
- Réduire les frais de main d'œuvre

Il est possible d'obtenir plus de sécurité dans l'exécution des tâches en éliminant ou en simplifiant les services considérés comme dangereux. Adaptation à des tâches physiquement ou mentalement dangereuses pour l'homme (manipulation de charges lourdes, tâches répétitives parallélisées) [1].

I.2. Présentation des systèmes de production automatisés (SAP)

I.2.1 Définition :

Un Système Automatisé de Production (SAP) est un ensemble organisé de moyens matériels et logiciels permettant de réaliser automatiquement des opérations de production, selon une séquence prédéfinie, avec une intervention humaine limitée principalement à la programmation, la supervision et la maintenance.

Ces systèmes reposent sur l'intégration de capteurs, actionneurs, automates programmables (API/PLC) et interfaces de contrôle, assurant la coordination et le pilotage des processus industriels de manière fiable, répétitive et optimisée. [1]

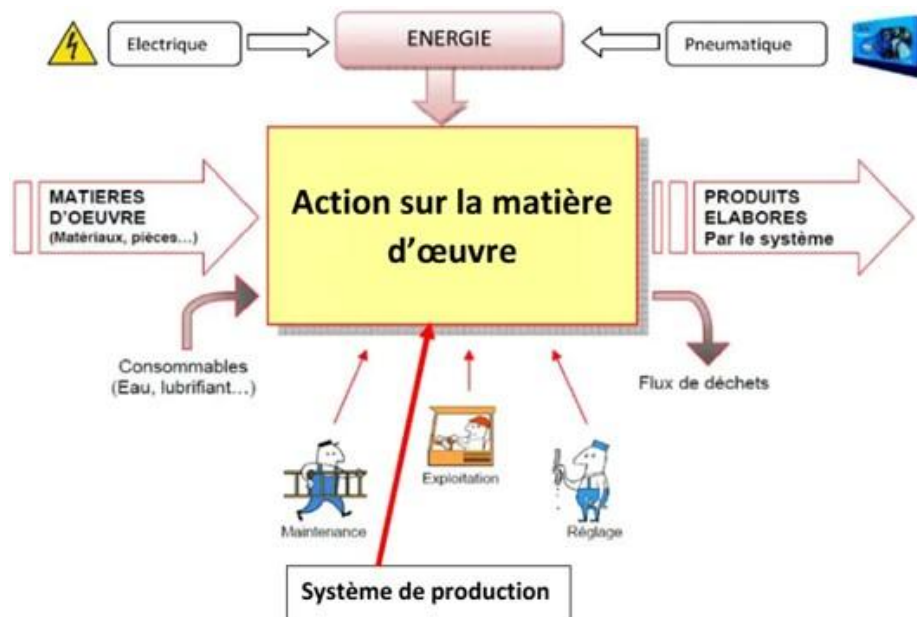


Figure I. 2: Approche Globale D'un Système De Production

I.2.2 Rôle des systèmes de production automatisés (SAP) dans l'industrie

Le Système Automatisé de Production (SAP) permet :

- D'automatiser les processus industriels afin d'améliorer la productivité,
- La précision et la qualité, tout en réduisant l'intervention humaine dans les tâches dangereuses ou répétitives.
- Il contribue également à la sécurité, à la réduction des coûts et à l'optimisation des performances grâce à l'intégration de systèmes de diagnostic intelligents capables de détecter et d'anticiper les pannes en temps réel. [1]

I.2.3. Structure d'un SAP

Un système automatisé de production comprend plusieurs parties :

- **Une partie commande PC** : qui reçoit les informations et gère le déroulement ordonné des opérations (unité de traitement, moyen de communication, IHM)

- Une **partie opérative PO** : qui effectue les opérations et renvoie les informations sur la position et la présence des différents éléments du système. (Capteur, actionneur...) [1]

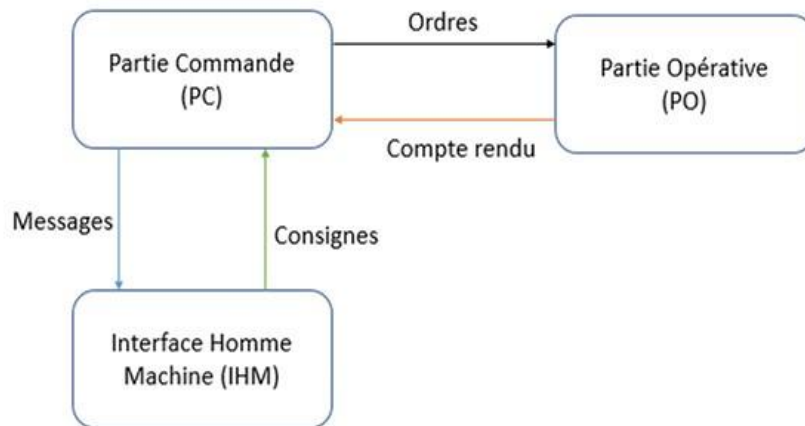


Figure I. 3: La structure d'un SAP

I.2.4 Partie opérative (PO)

La partie opérative reçoit les ordres de la partie commande et les exécute. Elle assure la transformation de la matière d'œuvre.

Elle est principalement composée de pré actionneurs, d'actionneurs, de capteurs et d'effecteurs. [2].

1. Capteurs

Un **capteur** est un dispositif qui détecte une grandeur physique (température, pression, position, lumière, etc.) et la transforme en un signal exploitable (souvent électrique) par le système de commande. Il existe différents types de capteur :

Analogiques : 0 – 20 mA, 0 – 10 V,

Tout Ou Rien : 0 ou 1, - Numériques [3].

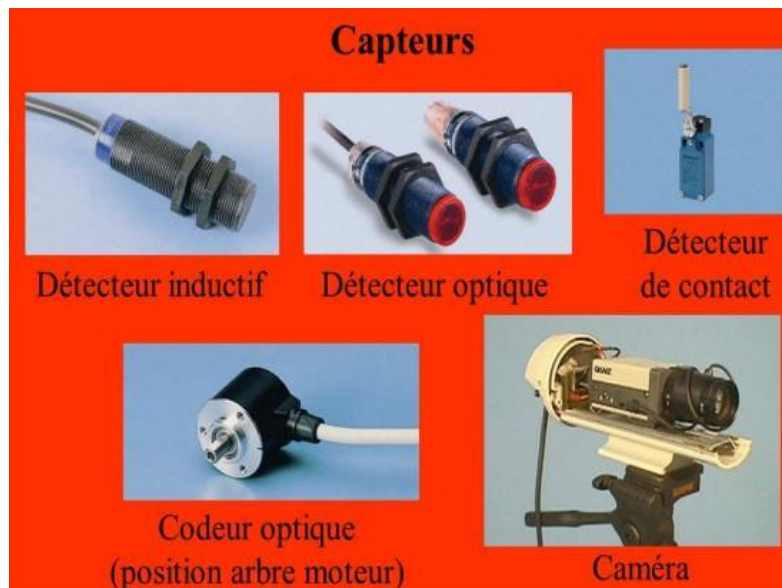


Figure I. 4 : Différents capteurs d'un système automatisé

2. Actionneurs

Un **actionneur** est un dispositif qui reçoit un signal de commande et le transforme en une action physique (mouvement, chaleur, lumière, etc.) Exemple :

- Moteurs : asynchrone, pas à pas, courant continu,
- Vérins : pneumatiques, hydrauliques,
- Pompes,
- Vannes [3].

3. Pré-actionneurs

Un **pré-actionneur** est un élément intermédiaire entre la partie commande et l'actionneur. Il adapte ou amplifie le signal de commande pour piloter correctement l'actionneur :

- Contacteurs de puissance,
- Variateurs de vitesse,
- Cartes de commandes,
- Commandes de vannes,
- Distributeurs : pneumatique, hydraulique.

4. Effecteurs

Ce sont les parties finales qui agissent directement sur le produit (pince, outil, tête de robot) :

- Production,
- Manutention,
- Assemblage,
- Remplissage,
- Emballage. [3]

I.2.5. Partie commande (PC)

La partie commande d'un système automatisé intègre une unité de traitement. Il existe divers types d'unités adaptés aux besoins de la production :

- Les relais de commande : pour des systèmes très simples et pour les parties de commande qui doivent être câblées, les sécurités entre autres,
- L'Automate Programmable Industriel : solution la plus répandue. Il permet plus de souplesse grâce à la programmation,
- Le régulateur industriel : il est spécialement dédié à la régulation allant d'une à plusieurs dizaines de boucles en même temps,
- Le microcontrôleur pour les systèmes produits en grande quantité (ABS de voiture) [3].

I.3 Les Automates Programmables industriels (API) :

Un Automate Programmable Industriel API : (Automate programmable industriel), en anglais PLC : (Programmable Logic Controller), est un appareil électronique de traitement de l'information (remplacement de logique à relais câblé) il effectue des fonctions d'automatisme programmées telles que :

- Logique combinatoire,
- Séquencement,
- Temporisation,
- Comptage,
- Calcul numérique,
- Asservissement et régulation.

Il envoie des ordres vers les pré-actionneurs ou actionneurs à partir de données d'entrées, de consignes et d'un programme informatique. [3]

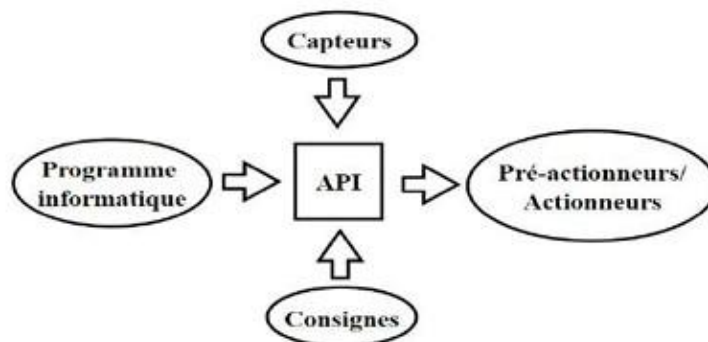


Figure I. 5: Opération interne dans API.

I.3.1. Nature des informations traitées par l'automate

Les données manipulées par un API peuvent être des types suivants :

1. **Tout ou Rien (TOR) ou logique** : l'information ne peut prendre que deux états (0 ou 1), c'est le type d'information fourni par un détecteur, ou un bouton poussoir.

2. **Analogique** : l'information est continue et peut prendre une valeur dans une plage bien définie. C'est le type de données que peut fournir un capteur (pression, température, etc.).
3. **Numériques** : l'information est stockée sous forme de mots codés en binaire. C'est le type de données que peut fournir un ordinateur ou un module intelligent. [3]

I.3.2. Structure et description des éléments d'un API :

Un API est structuré autour de plusieurs éléments de base : l'unité de traitement, la mémoire, l'unité d'alimentation, les interfaces d'entrées-sorties, l'interface de communication et le périphérique de programmation. [3] ,L'automate programmable est constitué de blocs fonctionnels :

- **Module d'alimentation « power supply »** : permet de fournir la tension nécessaire au fonctionnement de la machine. Ils fournissent des sources de tension à l'automate de 24V en continu, à partir du 220V alternatif.
- **Unité centrale U.C.T « central processing unit »** : l'unité centrale est l'ensemble du processeur et de la mémoire centrale. Elle assure toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation) à l'aide d'un programme stocké dans sa mémoire. Elle dirige l'interprétation et l'exécution des ordres, qui sont exécutés les uns après les autres et sont temporisés [4].
- **Les interfaces d'entrées/sorties** : ces interfaces relient l'API au monde extérieur et se présentent sous forme de modules. Elles peuvent être analogiques ou TOR. Les interfaces d'entrée contiennent des adresses d'entrées, une pour chaque capteur connecté. Les interfaces de sortie contiennent des adresses de sorties, pour chaque pré actionneurs connecté [4].
- **La mémoire** : elle est conçue pour recevoir, gérer et stocker les données provenant des nombreux secteurs du système, notamment le terminal de programmation (PC ou console) et le processeur, qui gère et exécute le programme. Elle reçoit également des informations en provenance des capteurs [4].

Il existe plusieurs types de mémoires des machines qui remplissent différentes fonctions :

- **RAM et EEPROM** : pour la conception et le développement du logiciel.
- **EPROM** : pour la conservation d'un programme pendant son exécution. [4].

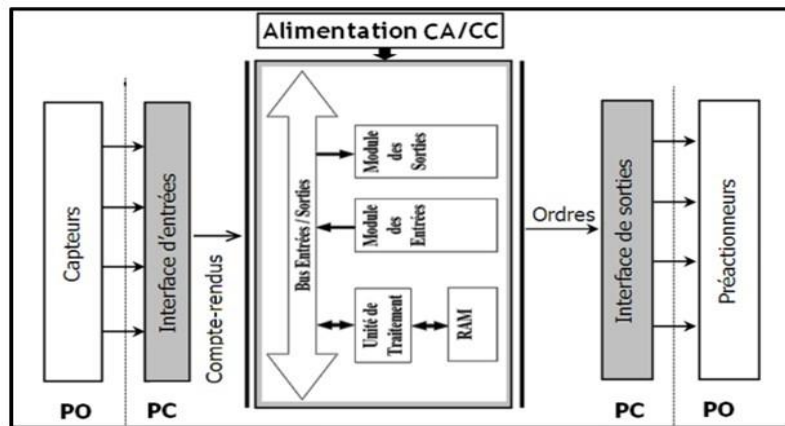


Figure I. 6: La structure de l'api

I.3.3. Principe de fonctionnement d'un API

Tous les automates suivent le même mode opératoire :

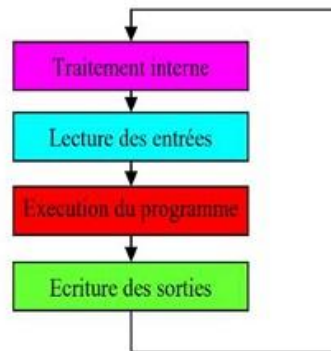


Figure I. 7: Fonctionnement interne de l'api

❖ **Traitement interne :**

L'automate effectue des opérations de contrôle et met à jour certains paramètres systèmes (détection des passages en RUN / STOP, mises à jour des valeurs de l'horodateur, ...).

❖ **Lecture des entrées :** L'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie dans la mémoire image des entrées.

❖ **Exécution du programme :** L'automate exécute le programme instruction par instruction et stocke les résultats dans la mémoire image des sorties ;

❖ **Écriture des sorties :** L'automate met à jour les différentes sorties (de manière synchrone) en fonction des valeurs définies dans la mémoire image des sorties.

Ces quatre opérations sont effectuées continuellement par l'automate. On parle d'un fonctionnement cyclique. On appelle scrutation l'ensemble des quatre opérations réalisées par l'auto mate et le temps de scrutation est le temps mis par l'automate pour traiter la même partie de programme [2] .

I.3.4. Domaines d'application des API

- **Commande de machines**

- Machines outil à commande numérique,
- Convoyage, stockage automatisé,
- Système d'emballage,
- Machines de chantier, engin et grue de levage [5] .

- **Automatisme du bâtiment**

- Chauffage, climatisation,
- Distribution électrique,
- Systèmes de sécurité [5] .

- **Régulation de processus**

- Chimie, pétrochimie, pharmaceutique,
- Traitement des eaux (stations de dessalement, station d'épuration),
- Station thermique, nucléaire, fours, métallurgie, cimenterie. [5]

- **Contrôle de systèmes**

- Industrie mécanique, agro-alimentaire,
- Production et distribution d'énergie (électricité, pétrole, gaz),
- Transports (chemin de fer, routier, marine, téléphérique. [5]

I.3.5. Types d'Automates Programmables Industriels

I.3.5.1. Automate de type modulaire

Dans les API de type modulaire, le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées/sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs). Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires. [6]



Figure I. 8: Automate de type modulaire

I.3.5.2. Automate de type compact :

Les API de type compact intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques...) et recevoir des extensions en nombre limité. Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes [6].



Figure I. 9: Automate de type compact

I.3.5.2.1. Automate de type compact Sécurité (Safety PLC):

Un API de Sécurité (Safety PLC) est un automate spécialement conçu pour protéger les personnes, les machines et l'environnement. Contrairement à un API classique, il est certifié pour fonctionner de manière fiable même en cas de panne.

Il surveille en permanence des dispositifs de sécurité comme :

- Boutons arrêt d'urgence
- Capteurs de porte de sécurité
- Barrières immatérielles (laser)
- Capteurs de présence [6] .



Figure I. 10: Automate de type sécurité

I.3.6. Langages de programmation pour API

La programmation d'un API consiste à traduire les équations fonctionnelles du système à automatiser dans le langage propre à l'automate. Parmi les langages normalisés, on trouve :

1. **LD** : Ladder Diagram ou schéma à contacts. Ce langage graphique est essentiellement dédié à la programmation d'équations booléennes (true ou false) [7].

Object graphique	Nom
- -	Contact normalement ouvert
- / -	Contact normalement fermé
- P -	Contact fermé au front montant
- N -	Contact fermé au front descendant
-()-	Bobine normalement ouverte
-(/)-	Bobine normalement fermée
- (S)- ou -(L)-	Bobine Latch (maintenu à 1 une fois actionné)
- (R)-ou - (U)-	Bobine Reset (remise à 0 de la bobine latch)
- (P)-	Bobine active au front montant de son entrée
- (N)-	Bobine active au front descendant de son entrée
-<return>	Retour inconditionnel (vers le sous-programme appelant)
<cond-<return>	Retour conditionnel
>»Label	Saut inconditionnel
<cond->»Label	Saut conditionnel

Tableau I. 1: Principaux éléments (contacts et bobines) d'un réseau LD

2. **IL** : Instruction List ou liste d'instructions. Ce langage textuel de bas niveau est un langage à une instruction par ligne. Il ressemble, dans certains aspects, au langage assembleur employé pour la programmation des microprocesseurs [7] .
3. **ST** : Structured Text ou texte structuré. Ce langage textuel de haut niveau est un langage évolué. Il permet la programmation de tout type d'algorithme plus ou moins complexe [7].
4. **SFC** : Sequential Function Chart. Issu du langage GRAFCET, ce langage de haut niveau permet la programmation aisée de tous les procédés séquentiels [7] .

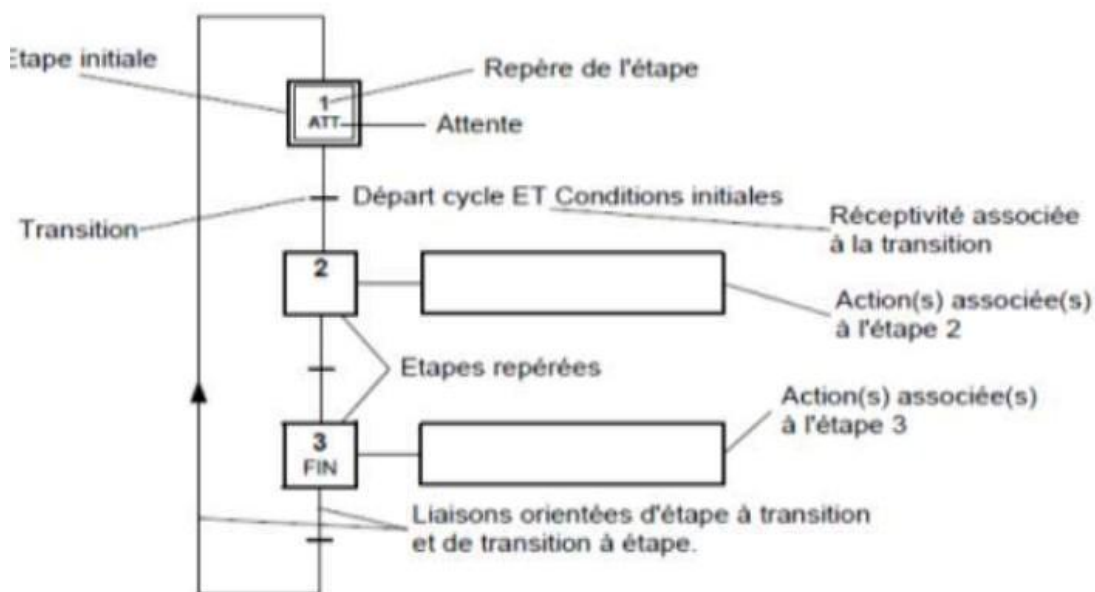


Figure I. 11: Principe du grafcet

5. **FBD** : Function Block Diagram ou Diagramme de blocs fonctionnels. Ce langage permet de programmer graphiquement à l'aide de blocs, représentant des variables, des opérateurs ou des fonctions. Il permet de manipuler tous les types de variables [7].

I.3.7. Choix de l'automate

Le choix de l'automate dépend de spécificité du système. Parmi les divers critères de sélection, il a été pris en considération les éléments suivants :

- L'alimentation électrique ;

Chapitre I : Généralités sur l'Automatisme et la Supervision Industrielle

- Le type de module d'entrées/sorties (digital ou analogique) et le nombre d'entrées/sorties qu'il peut gérer ;
- La capacité de la mémoire ;
- Le type de protocoles de communication ;

Les différents langages de programmation qu'il offre et qui doivent intégrer des fonctions d'automatisme : temporisateur, compteur, registre à décalage, bloc de régulation etc. ;

- La vitesse du processeur (CPU) ;
- La taille ;
- L'évolutivité ;
- Le critère coût [8]

I.3.8. Programmation des API

I.3.8.1. Logiciels de programmation TIA Portal

TiaPortal (Totally Integrated Automation) : Totally Integrated Automation apporte une réponse idéale à toutes les exigences et un concept ouvert aux normes internationales et aux systèmes tiers. Le TiaPortal, avec ses principales caractéristiques et sa robustesse, suit une machine ou une installation tout au long de son cycle de vie. Sur la base d'une gamme de produits complète, l'architecture globale du système fournit des solutions complètes pour chaque segment d'automatisation [6].

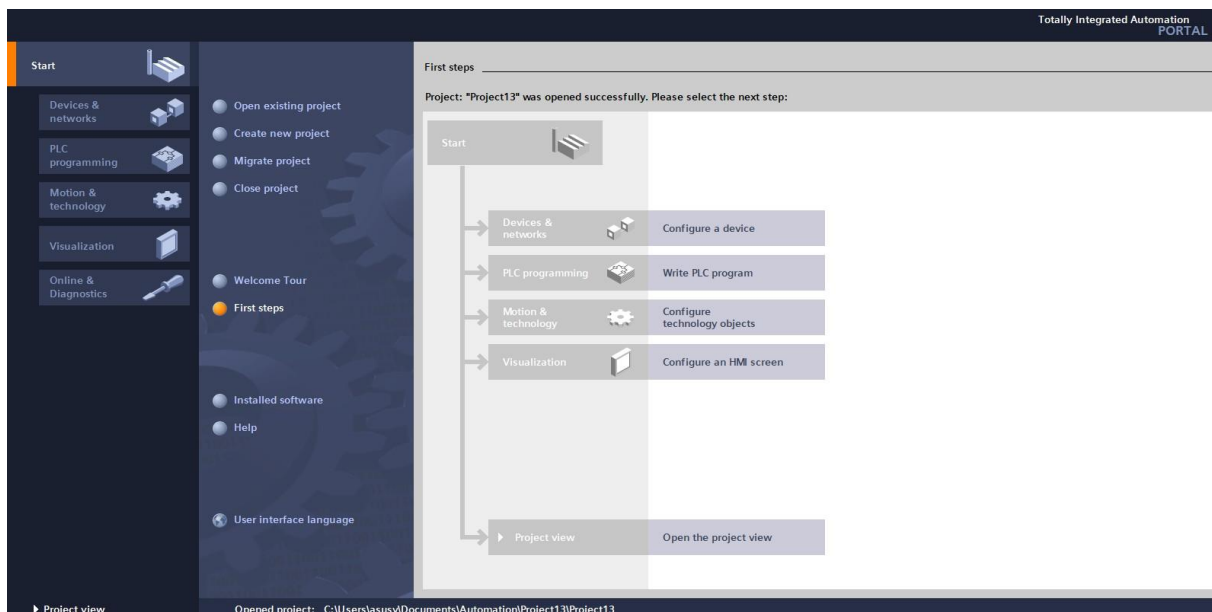


Figure I. 12: Interface du logiciel tia portal

Il s'agit d'autre plateforme comprenant le logiciel Simatic Manager Step7 pour la programmation API et WinCC Flexible pour l'interface homme machine.

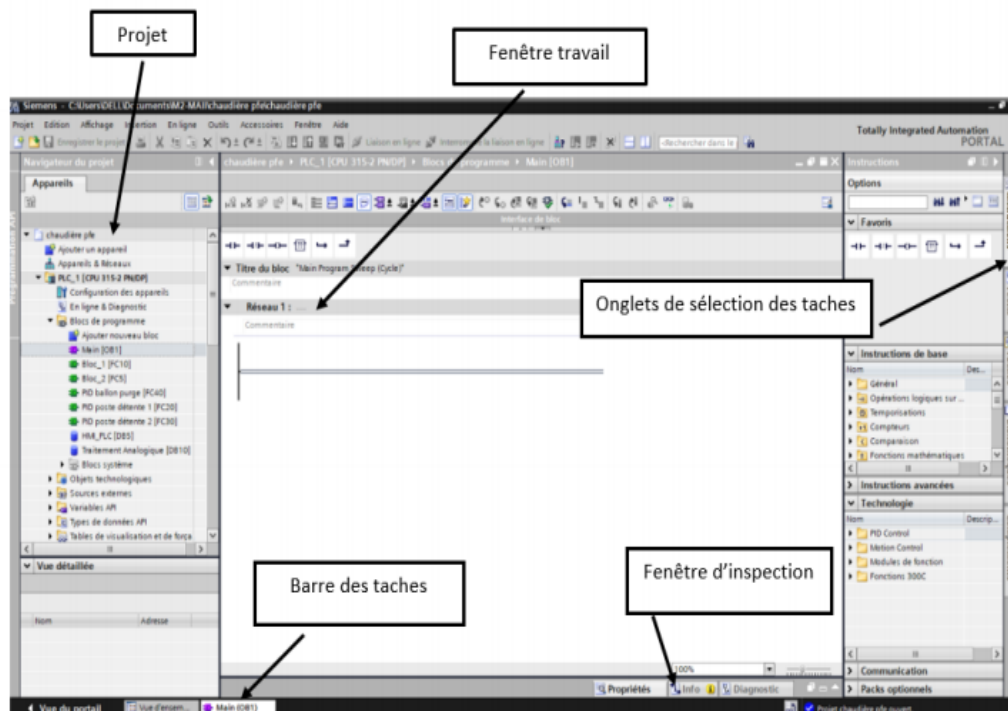


Figure I. 13: fenêtre de projet

1. **La fenêtre de travail** : permet d'afficher les objets sélectionnés dans le projet à traiter. Il peut s'agir de composants matériels, de blocs logiciels, de tables de variables, d'IHM, etc.
2. **La fenêtre d'inspection** : permet d'afficher des informations supplémentaires sur un objet spécifique ou sur les actions en cours (propriété de l'équipement spécifié, messages d'erreur lors de la compilation des blocs de programme, etc.).
3. **Les onglets de sélection de tâches** : contiennent un contenu qui varie en fonction de l'objet sélectionné (Configuration matérielle → Bibliothèques de composants, Bloc de programme → Instructions de code) [6].

1.3.8.2. Création d'un projet et configuration d'une station de travail :

➤ Création d'un projet :

Pour créer un projet dans la vue du portail, sélectionnez l'action Créer un projet. Vous pouvez donner un nom au projet, choisir un chemin où il sera enregistré, indiquer un commentaire ou préciser l'auteur du projet. Une fois ces informations saisies, cliquez simplement sur le bouton créer.

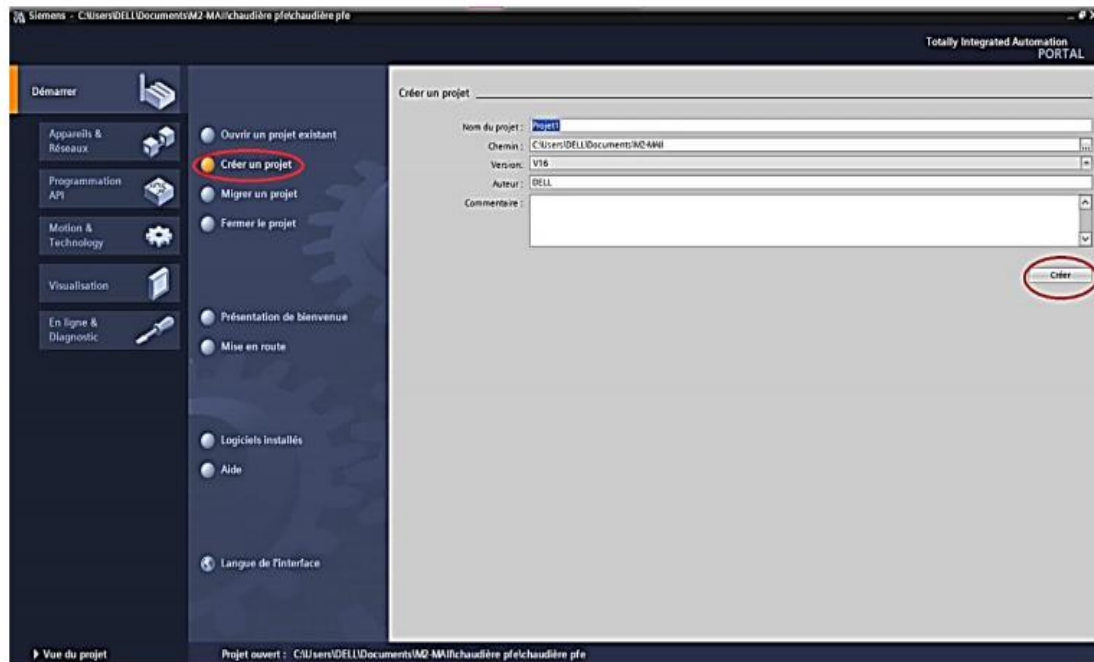


Figure I. 14: création d'un projet

➤ Configuration matériel (hardware) :

La configuration matérielle est nécessaire pour :

- Les paramètres ou les adresses prééglés d'un module.
- Configurer les liaisons de communication.

Une fois le projet créé, on peut configurer le poste de travail. La première étape consiste à identifier le matériel existant. Pour ce faire, vous pouvez aller sur « vue de projet » et cliquer sur « ajouter un appareil » dans le navigateur de projet. La liste des éléments pouvant être ajoutés (automate, IHM, système PC) s'affiche.

Nous allons commencer par choisir notre CPU puis ajouter les modules complémentaires (alimentation, entrées/sorties TOR ou analogiques, module de communication, etc.). La première méthode de configuration et de mise en place des appareils est représentée par la figure suivante [6]:

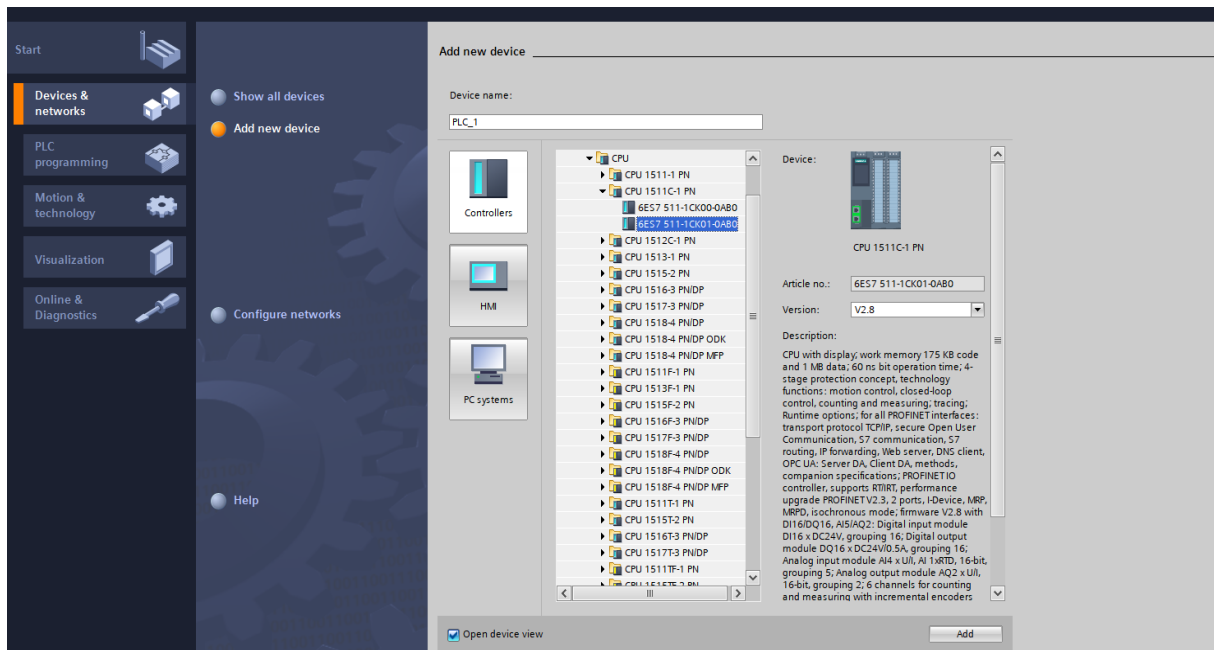


Figure I. 15: Première méthode de configuration et paramétrage du matériel

➤ Adressage des E/S :

Pour trouver l'adresse des entrées et sorties présentes dans la configuration matérielle, allez sur « Appareils et réseau », puis sur l'onglet « Vue des appareils » et de sélectionner l'appareil voulu.

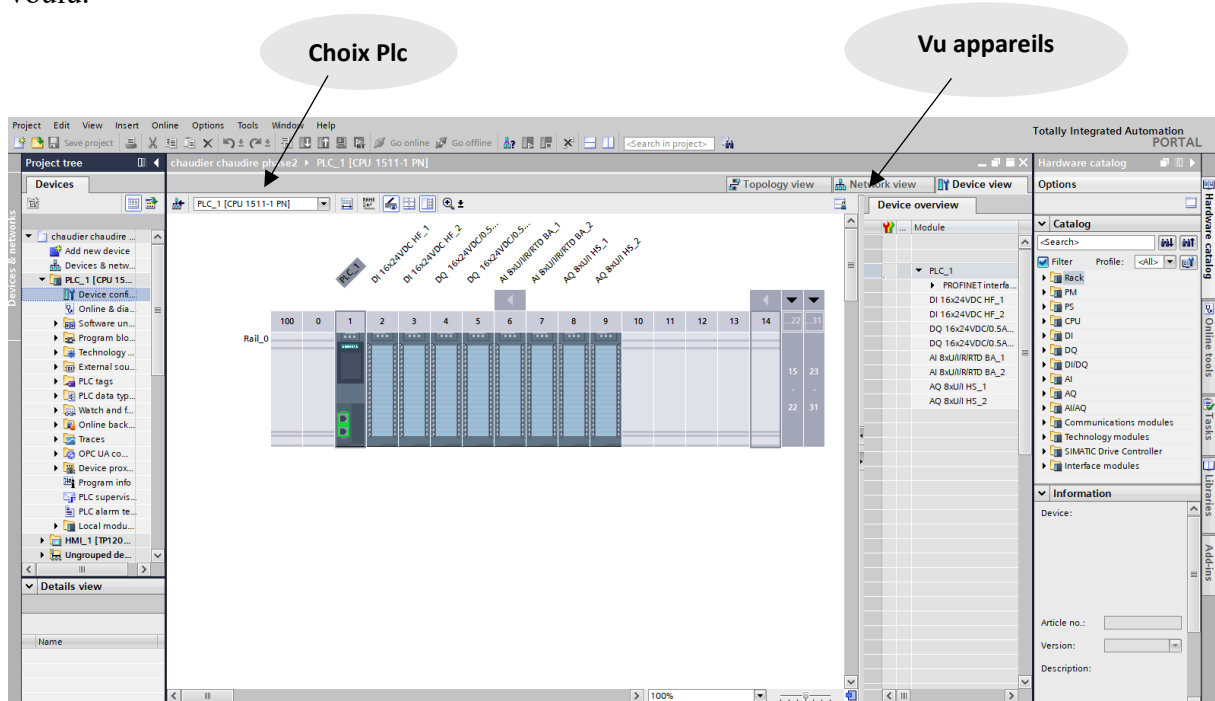


Figure I. 16: Deuxième méthode de configuration et paramétrage du matériel

➤ Compilation et chargement de la configuration matérielle :

Après avoir terminé la configuration matérielle, vous devrez compiler et charger le logiciel dans la machine. La compilation se fait à l'aide de l'icône « compile » dans la barre des tâches. Sélectionnez l'API dans le projet, puis cliquez sur le bouton "compiler". Cette méthode permet d'effectuer une compilation matérielle et logicielle. Une autre méthode de compilation consiste à faire un clic droit sur l'API dans la fenêtre du projet et à choisir Compiler « Configuration matérielle et logicielle ». L'image ci-dessous illustre la compilation et le chargement de la configuration matérielle [6] :

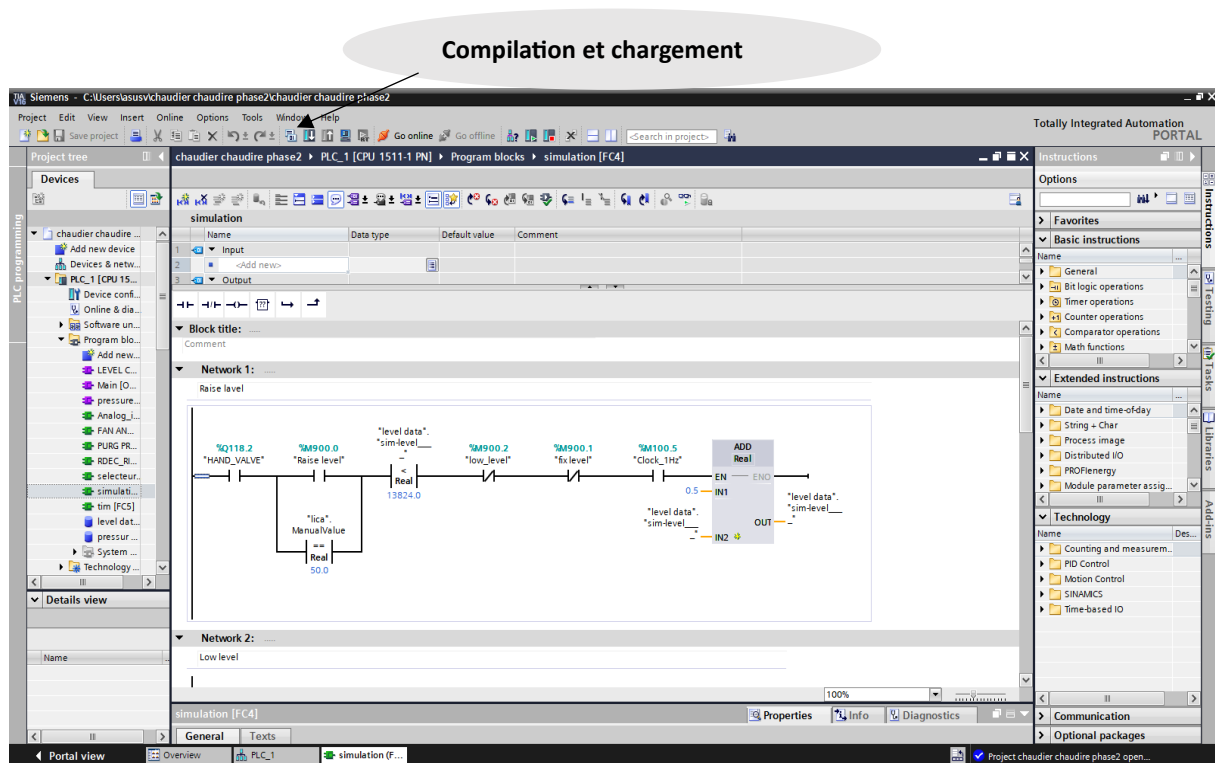


Figure I. 17: compilation et chargement du programme

1.3.8.2. Description du logiciel TiaPortal V16 :

TiaPortal est l'environnement d'ingénierie Siemens pour toutes les tâches d'automatisation qui permet de mettre en œuvre des solutions d'automatisation à l'aide d'un système d'ingénierie intégré comprenant les logiciels SIMATIC Step7 V16 et SIMATIC WinCC V16. Il intègre de manière transparente les contrôleurs, les entrées/sorties distribuées, l'IHM, les variateurs, la commande de mouvement et la gestion des moteurs dans un seul environnement d'ingénierie. TiaPortal et son concept de fonctionnement uniforme offrent aux utilisateurs l'outil idéal pour toutes les tâches et toutes les phases de projet afin d'assurer un flux de travail d'ingénierie optimisé [9].

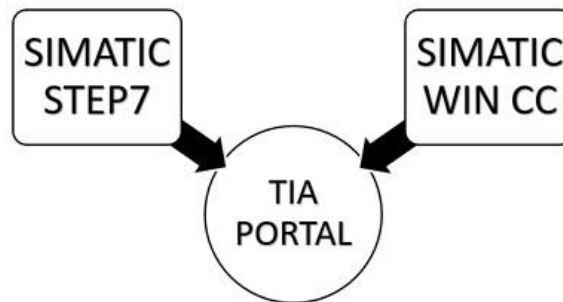


Figure I. 18: Illustration de la composition logicielle de tia portal

- **SIMATIC STEP 7**

SIMATIC STEP 7 : qui est intégré au TIA Portal, est le logiciel utilisé pour configurer, programmer, tester et diagnostiquer tous les contrôleurs SIMATIC. SIMATIC STEP 7 est doté d'une multitude de fonctionnalités conviviales qui permettent d'accroître considérablement la productivité de toutes les opérations d'automatisation, notamment la programmation, la simulation, la mise en service et la maintenance [9].

- **SIMATIC WinCC :**

Le portail Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), qui inclut SIMATIC WinCC, fait partie d'un nouveau paradigme d'ingénierie intégrée qui fournit un environnement d'ingénierie cohérent pour la programmation et la configuration de solutions de commande, de visualisation et d'entraînement. Le logiciel utilisé pour toutes les applications IHM dans le TIA Portal est WinCC, qui va des solutions de commande simples avec des panneaux de base aux applications SCADA pour les systèmes multipostes basés sur PC. Le précurseur de la gamme de solutions SIMATIC WinCC flexible a donc été considérablement élargi [9].

I.3.8.3. Les avantages du logiciel :

- La programmation est simple et rapide grâce aux nouveaux éditeurs de programmation : SCL, CONT, LOG, LIST et GRAPH.
- Augmentation d'efficacité grâce aux innovations linguistiques de STEP7 : programmation symbolique unifiée, arithmétique de boîtes, ajout de blocs pendant l'exécution, et bien plus encore.
- Des performances accrues grâce à des fonctions intégrées : simulation avec PLCSIM, télémaintenance avec Télé Service et système de diagnostic cohérent.
- Technologie flexible : La fonction de commande de mouvement évolutive et efficace des PLC S7-1500 et S7-1200.
- Avec Security Integrated, vous bénéficiez d'une sécurité complète : protection de la propriété intellectuelle, protection contre la copie, protection de l'accès et protection contre la falsification [10].

I.4. Protocole employé dans un environnement SCADA

Les protocoles de communication industriels sont un ensemble de règles établies qui ont pour but de créer une communication transparente entre les appareils et les systèmes industriels. Voici une présentation de quelques-uns de ces réseaux industriels [11].

I.4.1. Protocole Profibus

Le protocole Profibus (Process Field Bus) est une norme de communication basé sur la communication série et largement utilisée dans le domaine de l'automatisation industrielle et la supervision des systèmes de contrôle et d'acquisition de données (SCADA). Conçu en Allemagne dans les années 1990, il a rapidement gagné une reconnaissance mondiale en tant que standard essentiel pour la communication entre les différents éléments des systèmes automatisés industriels. PROFIBUS offre un débit de données élevé, est utilisé dans de nombreuses industries et applications, et facilite l'intégration avec des dispositifs compatibles Profibus. Il existe deux principaux types de protocole Profibus, il s'agit des protocoles Profibus DP et Profibus PA [12].

- **Profibus DP** : Le protocole Profibus DP qui signifie Profibus Décentralise Périple rails ou encore en français Profibus Périphériques Décentralisés utilise le RS-485 comme couche physique, permettant de longues distances de câblage dans des environnements électriquement bruyants. Ses principales caractéristiques incluent une vitesse de transmission élevée et un échange de données simple. Les appareils typiques connectés via PROFIBUS DP sont les E/S déportées, les convertisseurs de fréquence, les panneaux HMI et les actionneurs [12].
- **Profibus PA** : Le Pa signifié Process Automation (en français : Automatisation des Processus). Il a été développé pour l'environnement d'automatisation des processus, souvent soumis à des conditions explosives ou dangereuses. La couche physique de PROFIBUS PA est Manchester Encoded Bus Powered Intrinsically Safe (MBP-IS), permettant une transmission de données synchrone. Il utilise des coupleurs ou des liens DP/PA pour connecter les contrôleurs PROFIBUS DP aux appareils PROFIBUS PA, agissant comme des répéteurs. Cette variante permet de connecter des capteurs et des actionneurs sur une ligne de bus commune [12].

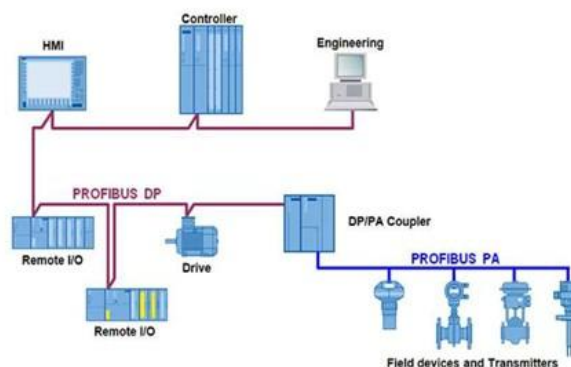


Figure I. 19: les types de protocole profibus

I.4.2. Le réseau local industriel PROFINET :

PROFINET est un développement de PROFIBUS, qui est un système de bus de terrain basé sur la communication mais qui comprend en outre des applications industrielles basées sur Ethernet. Le nombre de participants du réseau, l'utilisation d'un câble Ethernet industriel, la vitesse de transmission, la tailles des paquets de données et la possibilité de coexistence avec d'autres protocoles que PROFINET peut accepter, tout ça a influencé le développement du PROFINET [12].

I.4.2.1 Protocole Ethernet industriel :

Le Réseau Ethernet industriel, également connu sous le nom d'Ethernet industriel, est une technologie de réseau utilisée dans les environnements industriels pour la communication entre les équipements, les machines et les systèmes de contrôle. Il s'agit d'une variante de la technologie Ethernet traditionnelle, qui est couramment utilisée dans les réseaux informatiques et de communication. Il offre une haute vitesse de transmission des données (prennent en charge des vitesses de l'ordre de 100 mégabits par seconde (Mbps) et du gigabit par seconde (Gbps)), une large disponibilité de matériel et de logiciels compatibles, ainsi qu'une prise en charge de protocoles de communication standard. Il est idéal pour l'intégration avec des systèmes informatique [12].

I.4.2.2 Protocole Modbus :

Le Protocole MODBUS est un protocole de communication introduit par Modicon en 1979. Il repose sur une architecture Master/Slave (Maître/Esclave) ou Client/Server (Client/Serveur). Il utilise des supports physiques de transmission RS232, RS422 et RS485. Trois modes de communication sont définis pour Modbus.

- Modbus RTU : transmission série asynchrone via RS-232 ou RS-485 ;
- Modbus TCP : communication TCP/IP Ethernet basée sur le modèle client/serveur ;
- Modbus ASCII [12].

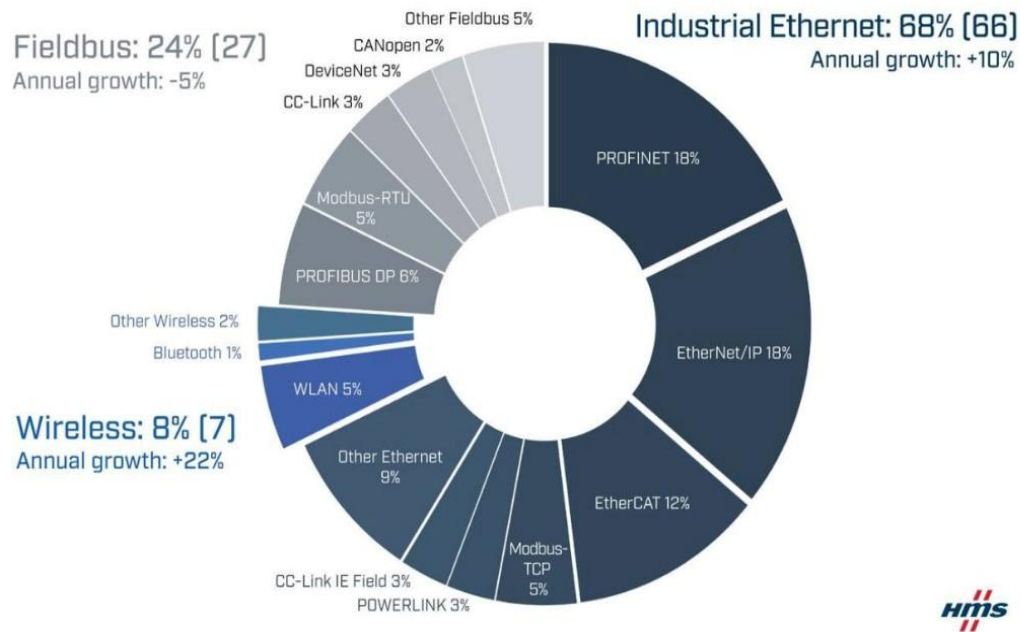


Figure I. 20: Les 4 protocoles de communication industriels les plus utilisés dans le Monde industriel

I.5. Supervision industrielle (SCADA / IHM)

I.5.1. Supervision industrielle

La supervision industrielle est un système qui permet de représenter, pour un opérateur ou un système externe, l'état et les performances d'un procédé industriel afin d'en assurer le contrôle à distance. Elle offre une visualisation en temps réel des installations ou des machines, avec un affichage dynamique du fonctionnement, incluant les alarmes, les défauts et les événements survenant durant l'exploitation.

Son objectif principal est de faciliter l'interaction homme-machine entre les automates, les équipements du procédé (capteurs, actionneurs, moteurs, etc.) et les opérateurs. Cela permet d'améliorer la réactivité du système, d'optimiser la production, de réduire les temps d'arrêt et d'assurer une maintenance efficace en signalant rapidement les anomalies [13].

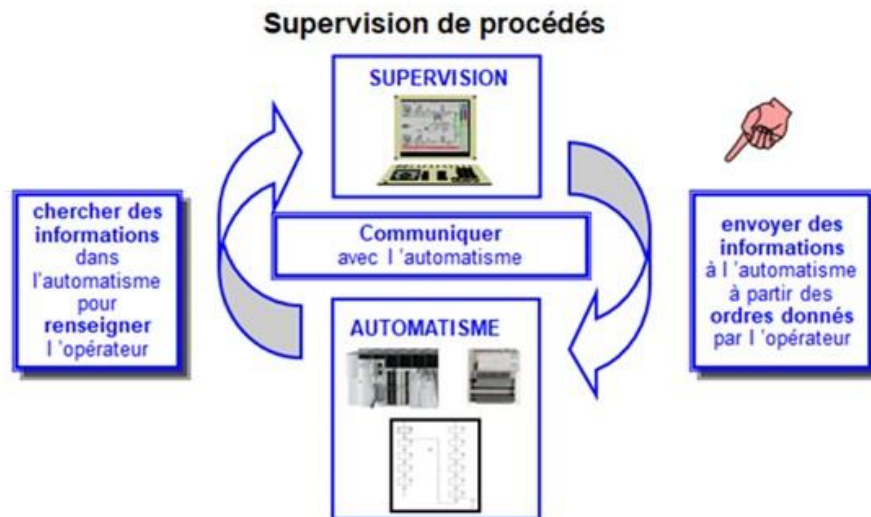


Figure I. 21: Supervision des procédés industrielle.

I.5.1.1. Principe de la supervision :

L'interface de supervision est constituée d'un ensemble d'objets (images, champs de saisi et d'affichage, boutons, messages, variables), chaque objet est affecté à une variable. Le changement d'état de ces objets (affichage, clignotement, changement de couleur, etc..) est conditionné par les valeurs de ses variables. Les informations importantes à afficher dans notre interface sont :

- L'état des différents transmetteurs et les capteurs
- Les différentes informations de production (température, pression de la vapeur et l'ouverture des vannes).
- L'interface doit permettre de commander les actionneurs (à l'aide des boutons poussoirs virtuels), et de faciliter la maintenance par l'intégration d'une interface de forçage des états des capteurs [13].

I.5.1.2. Les avantages de la supervision :

La supervision offre beaucoup d'avantage :

- Contrôle de la disponibilité des services et des fonctions, avec la surveillance des processus à distance.
- Contrôler l'utilisation des ressources et vérifier leur adéquation.
- Traitement des données.
- Détection, localisation, diagnostic et prévention des défaillances [13].

I.5.2. SCADA :

Le SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) est un système utilisé pour le contrôle, la supervision et la gestion des processus industriels grâce à la collecte et l'analyse de données en temps réel.

Initialement conçu pour remplacer les dispositifs simples comme les voyants et boutons poussoirs, le SCADA a évolué vers des systèmes capables de piloter des installations complexes et de gérer des fonctions critiques, notamment en matière de sécurité.

Grâce aux progrès technologiques, ces systèmes sont devenus plus intelligents et hautement automatisés, ce qui réduit la nécessité d'une intervention humaine constante

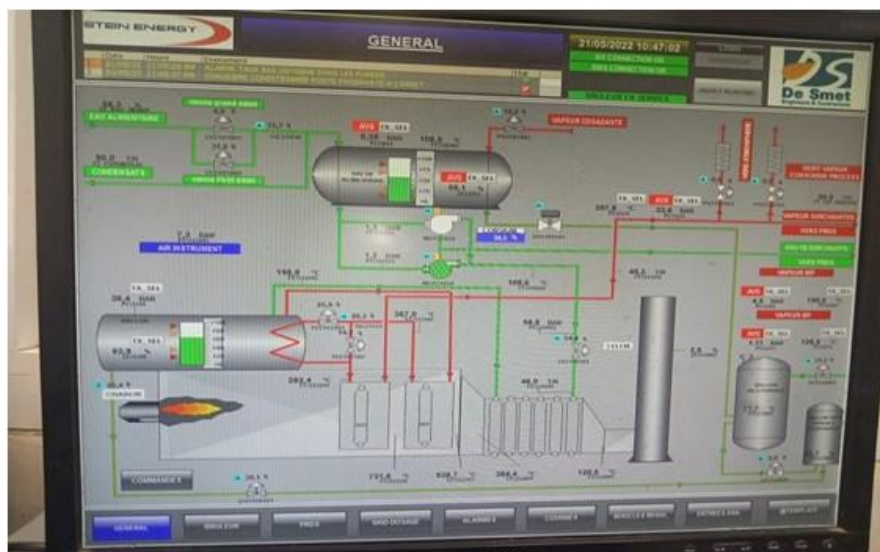


Figure I. 22: Schéma Synoptique.

Aujourd'hui, le SCADA est largement utilisé dans divers secteurs industriels tels que l'énergie (production et distribution d'électricité), la chimie, et l'industrie agroalimentaire, où il joue un rôle essentiel dans l'optimisation, la surveillance et la fiabilité des processus [11].

I.5.2.1. Fonction de base du SCADA

Les fonctions SCADA de base comprennent l'acquisition de données, le contrôle à distance, l'interface homme-machine, l'analyse des données historiques et la rédaction de rapports, qui sont communs aux systèmes de production, de transmission et de distribution.

- **Acquisition des données** est la fonction par laquelle tous les types de données analogiques et numérique sont acquises à partir du système d'alimentation. Ceci est accompli par l'utilisation de capteurs, de transducteurs et d'informations de point d'état acquis du terrain.

- **Contrôle à distance** implique le contrôle de toutes les variables requises par l'opérateur de la salle de contrôle. Dans les systèmes électriques, le contrôle consiste principalement à changer de position. Par conséquent, les points de sortie de contrôle numérique sont abondants, tels que positions du disjoncteur, de l'isolateur et des positions de marche et d'arrêt de l'équipement.
- **Analyse des données historiques** est une fonction importante remplie par le SCADA du système électrique, où l'analyse post-événement est effectuée à l'aide des données disponibles après l'événement.
- **Rédaction de rapports** : le système SCADA du système d'alimentation nécessite la génération d'un certain nombre de rapport pour la consommation à différents niveaux de la gestion et des différents départements de l'utilitaire. Par conséquent, la génération de rapports est essentielle conformément aux exigences des parties et des départements concernés [11].

I.5.2.2. Architecture du SCADA

Un système SCADA repose sur une architecture matérielle et logicielle dédiée à la supervision et au contrôle des processus industriels.

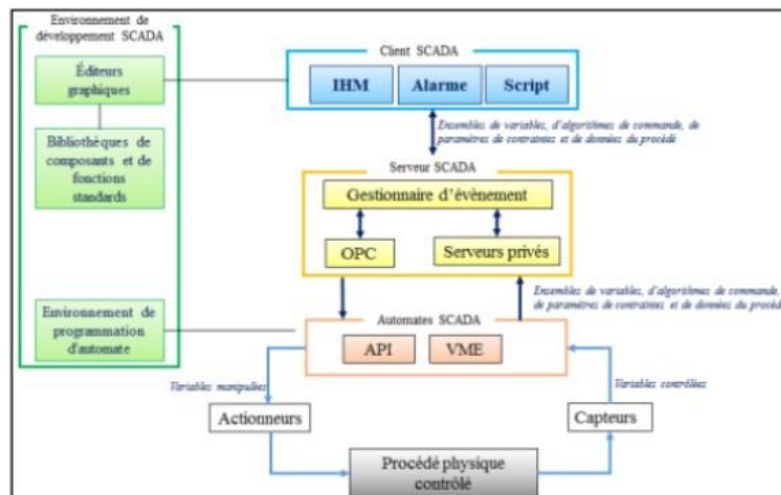


Figure I. 23: Architecture du SCADA.

- Architecture matérielle :

Elle comprend les stations clientes, les serveurs de données, les automates programmables industriels (API) et les systèmes physiques.

Les stations clientes assurent l'interaction avec l'utilisateur, tandis que le serveur collecte et gère les données provenant des API. Ces derniers utilisent les informations des capteurs pour agir sur le processus via des actionneurs [15].

- Architecture logicielle :

Elle regroupe les logiciels intégrés aux différents composants. Le client SCADA inclut une interface homme-machine (IHM) permettant de visualiser l'état du système, de le surveiller et de le contrôler à distance. Il intègre aussi des fonctions comme la gestion des alarmes et des scripts.

Le serveur SCADA coordonne les échanges entre l'IHM et les programmes de contrôle grâce à un gestionnaire d'événements et des protocoles de communication, assurant ainsi la transmission des données entre les clients et les API [14].

I.5.2.3. Composants de base d'un système SCADA :

La plupart des systèmes SCADA sont constitués de plusieurs composants qui communiquent sur un réseau.

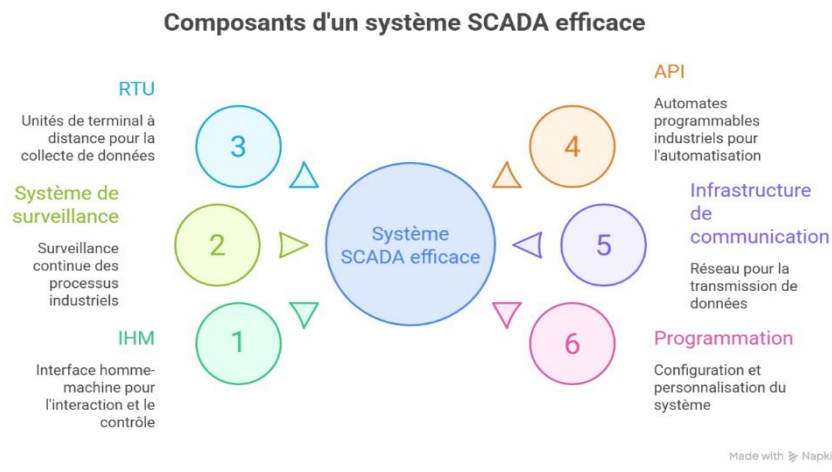


Figure I. 24: Les composants du système scada.

Un système SCADA de base se compose des éléments suivants :

- Interface Homme-Machine (IHM).
- Système de surveillance (en anglais : Supervisory System).
- Unités de terminal à distance RTU (en anglais : Remote Terminal Unit).
- Automates Programmables Industriels (API ou bien PLC).
- Infrastructure de communication [14].

I.5.2.4. Avantage du système SCADA

Parmi les avantages du SCADA, on retrouve :

- Le suivi de près du système ; voire l'état du fonctionnement de procédé dans des écrans même s'il se situe dans une zone lointaine,
- Le contrôle et l'assurance que toutes les performances désirées sont atteintes ; de visualiser les performances désirées du système à chaque instant, et s'il y aurait une perte de performance, une alarme se déclencherait d'une manière automatique pour prévenir l'opérateur,
- Produire une alarme lorsqu'une faute se produit et visualise même la position où se situent la faute et l'élément défectueux, ce qui facilite la tâche du diagnostic et de l'intervention de l'opérateur,
- Donne plusieurs informations sur le système ainsi aide l'opérateur à prendre la bonne décision, et ne pas se tromper dans son intervention,
- Diminue les tâches du personnel en les regroupant dans une salle de commande,

- Elimination ou réduction du nombre de visite aux sites éloignés ; avec une interface graphique, on peut suivre l'état de l'installation à chaque instant, ainsi on n'aura pas besoin de faire des visites de contrôle,
- Fiabilité accrue, le système pouvant être utilisé avec moins de gravité, les imprévus et les pannes sont résolus rapidement,
- Des coûts d'exploitation réduits, car la participation du personnel est moindre en raison à l'automatisation,
- Rétablissement plus rapide du courant en cas de panne, car les défauts peuvent être détecté plus rapidement et prendre des mesures [14]

I.5.3. Interface homme-machine (IHM) :

L'IHM (Interface Homme-Machine), aussi appelée HMI (Human Machine Interface), est un dispositif qui permet à un utilisateur d'interagir avec une machine ou un système. Elle est particulièrement utilisée dans les environnements industriels pour contrôler et superviser les équipements.



Figure I. 25: Interface IHM

L'IHM peut être accessible sur différents supports tels que ordinateurs, ordinateurs portables, tablettes, smartphones ou écrans tactiles industriels, ce qui la rend flexible et adaptée à divers contextes d'utilisation [14].

I.5.3.1. Fonctionnalités de l'IHM

L'interface homme-machine (IHM) permet aux opérateurs d'interagir directement avec les systèmes de contrôle tels que les PLC et les RTU. Elle remplace les dispositifs de commande traditionnels (interrupteurs, boutons) par des interfaces graphiques numériques.

Grâce à son fonctionnement basé sur des logiciels, l'IHM offre une grande flexibilité, permettant de configurer et d'ajuster facilement les paramètres sans modification matérielle. Elle permet notamment de démarrer ou arrêter des processus, de régler les consignes et d'intervenir sur le système de contrôle.

Les principales fonctions de l'IHM sont :

- L'affichage des données
- La surveillance du temps de production
- Le suivi des indicateurs de performance (KPI)
- La supervision des entrées et sorties des machines [11]

I.5.3.2. Les avantages d'une IHM

Les IHM's fournissent un certain nombre d'avantages aux organisations industrielles actuelles, notamment :

- Amélioration de la visibilité : Fournissent une meilleure visibilité des opérations tout le temps, avec la possibilité de visualiser l'installation sur un seul tableau de bord.
- Augmentation de l'efficacité : La visualisation et l'analyse des données permet d'améliorer l'efficacité de procédures.
- Diminution des temps d'arrêt : Grâce aux alertes sur le tableau de bord central, la réponse aux problèmes devient plus rapide, cela réduit les temps d'arrêt [11].

I.5.3.3. Différence entre SCADA et IHM

L'IHM (Interface Homme-Machine) et le SCADA sont souvent associés car ils font partie des systèmes de contrôle industriel et travaillent généralement ensemble.

L'IHM a pour rôle principal de présenter les informations de manière visuelle (écrans, graphiques, alarmes) afin de permettre à l'opérateur de surveiller et piloter un procédé facilement. Elle sert donc surtout d'interface de communication entre l'homme et la machine.

Le SCADA, en revanche, est un système plus complet. Il permet de collecter les données provenant des équipements, de les stocker, analyser et historiser, et aussi de contrôler les installations à distance. Il est souvent relié à des bases de données et couvre l'ensemble du processus de supervision [11].

I.6. Logiciel de développement d'IHM : WINCC Flexible

Logiciel de supervision : Nous utilisons pour la supervision le logiciel TIA PORTAL V16 avec WINCC FLEXIBLE Intégrée, l'interface ergonomique de TIA PORTAL met à disposition du développeur l'ensemble des outils nécessaires à la création des Fenêtres, Boutons, Voyants, Alarmes, Historiques, Recettes, Droits d'Accès, Mots de Passe et à la déclaration de l'ensemble des automates, variateurs, lecteurs code-barres et autres pupitres du réseau [15].

I.6.1. Composants de la fenêtre principale de WinCC flexible

La fenêtre de la figure montre les composants principaux que nous allons les utiliser pour le développement de notre IHM de supervision.

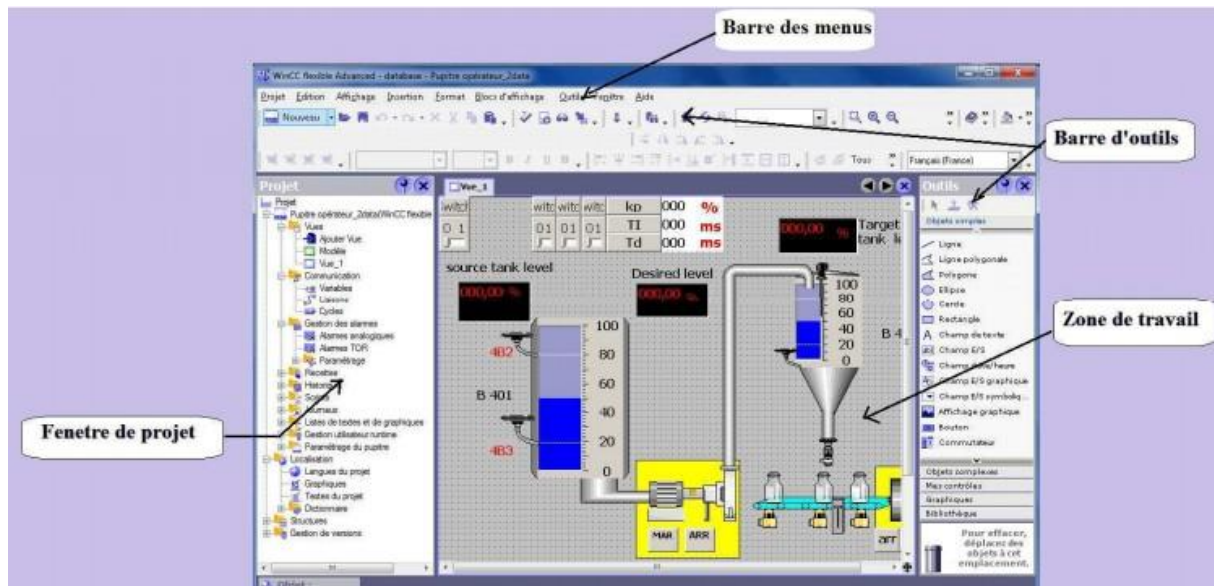


Figure I. 26: Fenêtre principale de Wincc flexible

- Barre des menus : La barre des menus contient toutes les commandes nécessaires à l'utilisation de WinCC flexible. Les raccourcis disponibles sont indiqués en regard de la commande du menu,
- Barres d'outils : La barre d'outils permet d'afficher tout dont le programmeur a besoin,
- Zone de travail : La zone de travail sert à configurer des vues, de façon qu'il soit le plus compréhensible par l'utilisateur, et très facile à manipuler et consulter les résultats,
- Boîte à outils : La fenêtre des outils propose un choix d'objets simples ou complexes qu'on insère dans les vues, p. ex. des objets graphiques et éléments de commande,
- Fenêtre des propriétés : Le contenu de la fenêtre des propriétés dépend de la sélection actuelle dans la zone de travail, lorsqu'un objet est sélectionné, on peut éditer les propriétés de l'objet en question dans la fenêtre des propriétés [15]

I.6.1.1. WinCC flexible Runtime

Au Runtime, l'opérateur peut réaliser le contrôle-commande du processus. Les tâches suivantes sont alors exécutées :

- Communication avec les automates,
- Affichage des vues à l'écran,
- Commande du processus, par exemple spécification de consignes ou ouverture et fermeture de vannes,
- Archivage des données de Runtime actuelles, des valeurs processus et événements d'alarme par exemple [16].

I.6.1.2. Étapes de mise en œuvre

Pour créer une interface homme-machine, vous devez d'abord être familiarisé avec les éléments de l'installation et le logiciel de programmation automate utilisé. Nous avons créé interface pour la surveillance avec le logiciel WinCC flexible intégré dans le logiciel TIA Portal V16.

a) Etablir une liaison en utilisant protocole de communication

La première chose à faire est d'établir une connexion en utilisant le protocole de communication Ethernet industriel WinCC et notre contrôleur. De cette manière, WinCC peut lire les données de la mémoire du contrôleur.

b) Création de la table des variables

La connexion entre notre projet WinCC et le contrôleur est maintenant établie.

Nous pouvons accéder à toutes les zones de stockage de l'automate.

- Mémoire entrée/sortie,
- Mémento,
- Bloc de données.

Les variables sont utilisées pour la communication, c'est-à-dire que les données sont échangées entre les composants du processus d'automatisation ou entre le pupitre opérateur et l'automate.

Afin de faire correspondre les données du projet de programmation avec les données du projet de supervision, vous pouvez créer une table de correspondance des données via l'angle variable .

Chaque ligne correspond à une variable de WinCC. Elle est spécifiée par :

- Son nom,
- La liaison vers l'automate,
- Son type,
- Et le taux de rafraîchissement de celle-ci.

Le taux de rafraîchissement est le temps que doit mettre WinCC entre deux lectures dans la mémoire de l'automate. [16]

I.7. Objectif à atteindre

L'automatisme industriel repose, comme présenté dans ce chapitre, sur l'intégration de plusieurs composants essentiels tels que les automates programmables industriels (API), les interfaces homme-machine (IHM), les protocoles de communication et les logiciels de supervision. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail.

L'objectif consiste en le développement d'une IHM de supervision et de contrôle à l'aide du logiciel WinCC Flexible intégré à TIA Portal V16, permettant la visualisation en temps réel des paramètres du processus, la gestion des alarmes ainsi que la commande à distance des actionneurs, conformément aux principes de la supervision industrielle SCADA/IHM.

La démarche adoptée s'appuiera sur la simulation via les deux outils Siemens, PLCSIM et WinCC Runtime, afin de valider le comportement du système. Ce travail représente ainsi une application concrète et directe de l'ensemble des notions développées dans ce chapitre.

Conclusion

Les technologies et solutions innovantes continuent de progresser pour simplifier la vie, améliorer la précision de divers processus et assurer le bien-être humain. Parmi ces avancées, l'automatisme se distingue comme une approche particulièrement avantageuse. Dans ce chapitre, nous avons étudié l'automatisme industriel ainsi que les différents composants d'un système de production automatisé. Nous avons décrit en détail le fonctionnement d'un API (Automate Programmable Industriel), présenté les différents langages de programmation utilisés en automatisme, défini le concept de supervision industrielle, et enfin présenté les principaux logiciels de programmation et de supervision employés dans l'industrie, notamment ceux de Siemens.

Le chapitre suivant proposera une présentation générale du **système étudié**, incluant son **cahier des charges**, ainsi que les outils et les moyens techniques mis en œuvre.

Chapitre II

Présentation du cadre industriel et le système étudié

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous décrirons le complexe GP1/Z d'Arzew en présentant son historique, sa localisation géographique et les différentes unités qui le composent. Nous verrons aussi la technologie de traitement du GPL et l'organisation générale du complexe. Ensuite, on réalisera une étude détaillée du système considéré, à savoir la chaudière à tubes d'eau utilisée dans les installations industrielles. Ce chapitre expose également le principe de fonctionnement de cette chaudière, les différents types d'eau employés, ainsi que le rôle de la vapeur dans le procédé industriel. Enfin, nous verrons les principaux éléments constitutifs de la chaudière à tubes d'eau pour mieux comprendre le fonctionnement global du système.

II.2. Présentation du complexe GP1/Z « JUMBO »

II.2.1. Historique et missions

Le complexe GP1/Z fait partie des six complexes de liquéfaction appartenant à l'activité (AVAL) de l'entreprise nationale SONATRACH. Il est situé entre la centrale thermoélectrique de Marsa EL Hadjaj à l'Est et les complexes de GNL à l'Ouest et qui s'étend sur une superficie de 120 hectares. Il a été construit avec le concours d'un consortium Japonais IHI -ITOCHU dans le cadre d'un contrat clé en main, en trois phases de construction. La première a été réceptionnée le 02 septembre 1984, la deuxième phase le 20 novembre 1998 et la troisième phase le 24 Février 2010. En 1983 le complexe disposait de quatre trains de traitement GPL qui lui permettait de produire 4.8 millions de tonnes par an et suite à une acquisition de deux trains supplémentaires (extension du complexe en 1998) cette production a augmenté pour atteindre 7,2 millions de tonnes par 5 ans. Après le démarrage de la troisième phase, la production est estimée à 10,8 millions de tonnes par an [1]. Le complexe GP1Z se compose de neuf (9) trains situés dans la zone de procédés, ainsi que d'installations communes dédiées à l'alimentation, au séchage, au chargement et à la liquéfaction des vapeurs au niveau des unités off-site. Chaque train de la zone de procédés est conçu pour assurer une capacité de production nominale d'un million de tonnes de produits, à savoir le propane et le butane [17].

II.2.2. Situation géographique :

D'une superficie de 120 hectares, le complexe GP1/Z est situé dans la zone industrielle d'ARZEW, entre la centrale thermique (MERSAT EL HADJADJ) à l'EST et le complexe GL2/Z à l'OUEST, entre la mer méditerranée et la route nationale N°11

II.2.3. Les installations principales sont :

- 09 Trains de traitement du GPL.

- 04 Unités de liquéfaction des boil-off.
- 22 Sphères de stockage de la charge d'alimentation de 1000 m3 chacune.
- 04 Bacs de stockage de propane basse température de 70.000 m3 chacune.
- 04 Bacs de stockage de butane basse température de 70.000 m3 chacune.
- 04 Sphères de stockage de produits ambiants (propane et Butane) de 500 m3 chacune.
- 01 Sphères de stockage gazoline de 500 m3.
- 01 Unité de démercurisation.
- 05 Salles de contrôle.
- 01 Station électrique alimentée par SONEGAS.
- 04 Générateurs assurant l'énergie de secours du complexe.
- 02 Quais de chargement pouvant recevoir des navires d'une capacité variante entre 4000 et 5000 tonnes.
- Une rampe de chargement de camions.
- Une station de pompage d'eau de mer.
- Un système de télésurveillance [17].

II.2.4. Organisation du complexe

La description des structures nous permet de connaître la situation géographique, l'effectif, les objectifs et le rôle de chaque département. Ceci permet connaître le fonctionnement du complexe GP1/Z en intégralité.

Le complexe GP1/Z est géré suivant l'organigramme de la figure II.1

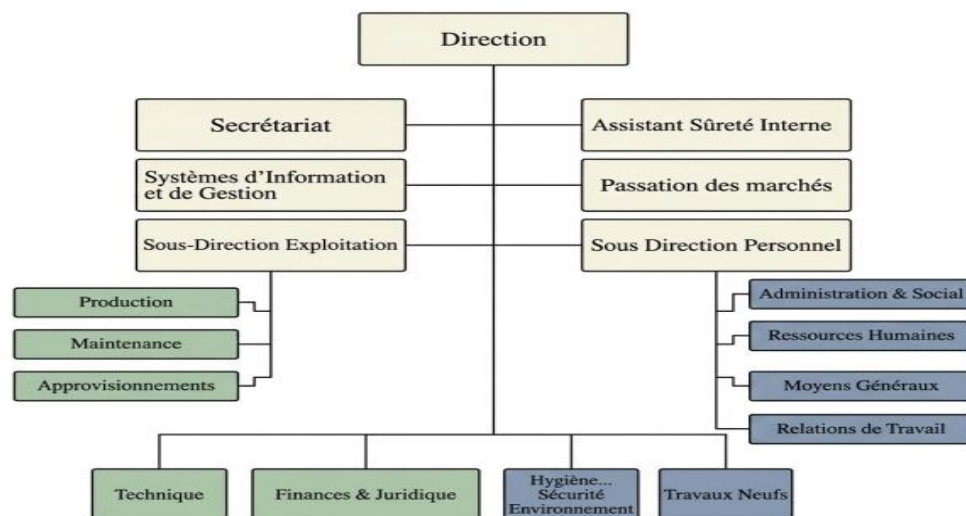


Figure II. 1: Organigramme du complexe Gp1z

II.3. Description du cadre industriel complexe GP1/Z « JUMBO »

Le complexe industriel GP1/Z « JUMBO » est une unité pétrochimique stratégique implantée dans la zone industrielle d'Arzew, en Algérie. Il est principalement destiné au traitement et à la liquéfaction du gaz de pétrole liquéfié (GPL) en provenance des champs gaziers du sud algérien.

Ce système industriel comporte plusieurs lignes de production qui incluent des unités de séparation, de déshydratation et de compression. Il est conçu pour garantir une production continue et sécurisée de propane et de butane conformes aux normes internationales. Le complexe est au cœur de la chaîne énergétique nationale par l'exportation et la valorisation du gaz. Grâce à ses technologies avancées de contrôle et d'automatisation, il assure un fonctionnement fiable, efficace et en toute sécurité. [17]

II.3.1. Procédé de liquéfaction du GPL

Le procédé de liquéfaction du GPL au complexe GP1/Z permet de transformer les gaz légers issus du traitement du gaz naturel en phase liquide afin de faciliter leur stockage et leur transport. Dans un premier temps, le gaz fait l'objet d'opérations de séparation destinées à éliminer les impuretés, l'eau et les composés indésirables. Il est ensuite refroidi progressivement grâce à des échangeurs thermiques et des systèmes de réfrigération spécifiques.

La compression est également très importante pour approcher les conditions du gaz de celles de la liquéfaction. Le GPL ainsi obtenu se compose principalement de propane et de butane à l'état liquide stable.

Le produit est ensuite conservé dans des réservoirs cryogéniques en attendant son expédition vers les marchés nationaux et internationaux. [17]

Présentation globale du procédé

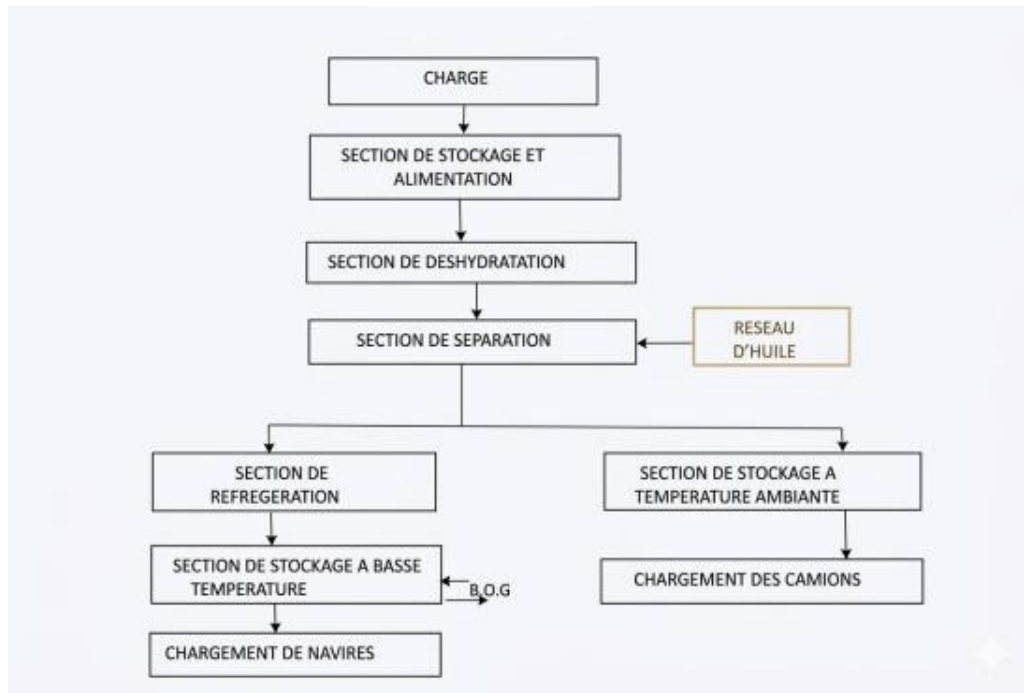


Figure II. 2: Schema Procédé de liquéfaction du GPL

II.3.1.1. Prétraitement de la charge

Les matières premières sont transportées depuis divers champs pétrolifères du sud vers le complexe GP1/Z via RTO via des contrôleurs de pression pour maintenir une pression stable, puis via six défusions à mercure pour réduire la teneur en mercure. [17]

En générale, ce prétraitement se subdivise en deux sections :

a. Section démercurisation :

La section démercurisation se compose de deux filtres GPL, deux coalesceurs et six démercuriseurs. Le filtres GPL, les coalesceurs et les démercuriseurs sont installés afin d'enlever les particules solides, l'eau libre et le mercure contenus dans la charge d'alimentation GPL avant les sphères de stockage de la charge d'alimentation.



1 0

Downloaded from <http://ajph.org/> at University of California, San Francisco on June 11, 2015

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

1. $\frac{1}{2}$ 2. $\frac{1}{3}$ 3. $\frac{1}{4}$ 4. $\frac{1}{5}$ 5. $\frac{1}{6}$ 6. $\frac{1}{7}$ 7. $\frac{1}{8}$ 8. $\frac{1}{9}$ 9. $\frac{1}{10}$ 10. $\frac{1}{11}$ 11. $\frac{1}{12}$ 12. $\frac{1}{13}$ 13. $\frac{1}{14}$ 14. $\frac{1}{15}$ 15. $\frac{1}{16}$ 16. $\frac{1}{17}$ 17. $\frac{1}{18}$ 18. $\frac{1}{19}$ 19. $\frac{1}{20}$ 20. $\frac{1}{21}$ 21. $\frac{1}{22}$ 22. $\frac{1}{23}$ 23. $\frac{1}{24}$ 24. $\frac{1}{25}$ 25. $\frac{1}{26}$ 26. $\frac{1}{27}$ 27. $\frac{1}{28}$ 28. $\frac{1}{29}$ 29. $\frac{1}{30}$ 30. $\frac{1}{31}$ 31. $\frac{1}{32}$ 32. $\frac{1}{33}$ 33. $\frac{1}{34}$ 34. $\frac{1}{35}$ 35. $\frac{1}{36}$ 36. $\frac{1}{37}$ 37. $\frac{1}{38}$ 38. $\frac{1}{39}$ 39. $\frac{1}{40}$ 40. $\frac{1}{41}$ 41. $\frac{1}{42}$ 42. $\frac{1}{43}$ 43. $\frac{1}{44}$ 44. $\frac{1}{45}$ 45. $\frac{1}{46}$ 46. $\frac{1}{47}$ 47. $\frac{1}{48}$ 48. $\frac{1}{49}$ 49. $\frac{1}{50}$ 50. $\frac{1}{51}$ 51. $\frac{1}{52}$ 52. $\frac{1}{53}$ 53. $\frac{1}{54}$ 54. $\frac{1}{55}$ 55. $\frac{1}{56}$ 56. $\frac{1}{57}$ 57. $\frac{1}{58}$ 58. $\frac{1}{59}$ 59. $\frac{1}{60}$ 60. $\frac{1}{61}$ 61. $\frac{1}{62}$ 62. $\frac{1}{63}$ 63. $\frac{1}{64}$ 64. $\frac{1}{65}$ 65. $\frac{1}{66}$ 66. $\frac{1}{67}$ 67. $\frac{1}{68}$ 68. $\frac{1}{69}$ 69. $\frac{1}{70}$ 70. $\frac{1}{71}$ 71. $\frac{1}{72}$ 72. $\frac{1}{73}$ 73. $\frac{1}{74}$ 74. $\frac{1}{75}$ 75. $\frac{1}{76}$ 76. $\frac{1}{77}$ 77. $\frac{1}{78}$ 78. $\frac{1}{79}$ 79. $\frac{1}{80}$ 80. $\frac{1}{81}$ 81. $\frac{1}{82}$ 82. $\frac{1}{83}$ 83. $\frac{1}{84}$ 84. $\frac{1}{85}$ 85. $\frac{1}{86}$ 86. $\frac{1}{87}$ 87. $\frac{1}{88}$ 88. $\frac{1}{89}$ 89. $\frac{1}{90}$ 90. $\frac{1}{91}$ 91. $\frac{1}{92}$ 92. $\frac{1}{93}$ 93. $\frac{1}{94}$ 94. $\frac{1}{95}$ 95. $\frac{1}{96}$ 96. $\frac{1}{97}$ 97. $\frac{1}{98}$ 98. $\frac{1}{99}$ 99. $\frac{1}{100}$ 100. $\frac{1}{101}$ 101. $\frac{1}{102}$ 102. $\frac{1}{103}$ 103. $\frac{1}{104}$ 104. $\frac{1}{105}$ 105. $\frac{1}{106}$ 106. $\frac{1}{107}$ 107. $\frac{1}{108}$ 108. $\frac{1}{109}$ 109. $\frac{1}{110}$ 110. $\frac{1}{111}$ 111. $\frac{1}{112}$ 112. $\frac{1}{113}$ 113. $\frac{1}{114}$ 114. $\frac{1}{115}$ 115. $\frac{1}{116}$ 116. $\frac{1}{117}$ 117. $\frac{1}{118}$ 118. $\frac{1}{119}$ 119. $\frac{1}{120}$ 120. $\frac{1}{121}$ 121. $\frac{1}{122}$ 122. $\frac{1}{123}$ 123. $\frac{1}{124}$ 124. $\frac{1}{125}$ 125. $\frac{1}{126}$ 126. $\frac{1}{127}$ 127. $\frac{1}{128}$ 128. $\frac{1}{129}$ 129. $\frac{1}{130}$ 130. $\frac{1}{131}$ 131. $\frac{1}{132}$ 132. $\frac{1}{133}$ 133. $\frac{1}{134}$ 134. $\frac{1}{135}$ 135. $\frac{1}{136}$ 136. $\frac{1}{137}$ 137. $\frac{1}{138}$ 138. $\frac{1}{139}$ 139. $\frac{1}{140}$ 140. $\frac{1}{141}$ 141. $\frac{1}{142}$ 142. $\frac{1}{143}$ 143. $\frac{1}{144}$ 144. $\frac{1}{145}$ 145. $\frac{1}{146}$ 146. $\frac{1}{147}$ 147. $\frac{1}{148}$ 148. $\frac{1}{149}$ 149. $\frac{1}{150}$ 150. $\frac{1}{151}$ 151. $\frac{1}{152}$ 152. $\frac{1}{153}$ 153. $\frac{1}{154}$ 154. $\frac{1}{155}$ 155. $\frac{1}{156}$ 156. $\frac{1}{157}$ 157. $\frac{1}{158}$ 158. $\frac{1}{159}$ 159. $\frac{1}{160}$ 160. $\frac{1}{161}$ 161. $\frac{1}{162}$ 162. $\frac{1}{163}$ 163. $\frac{1}{164}$ 164. $\frac{1}{165}$ 165. $\frac{1}{166}$ 166. $\frac{1}{167}$ 167. $\frac{1}{168}$ 168. $\frac{1}{169}$ 169. $\frac{1}{170}$ 170. $\frac{1}{171}$ 171. $\frac{1}{172}$ 172. $\frac{1}{173}$ 173. $\frac{1}{174}$ 174. $\frac{1}{175}$ 175. $\frac{1}{176}$ 176. $\frac{1}{177}$ 177. $\frac{1}{178}$ 178. $\frac{1}{179}$ 179. $\frac{1}{180}$ 180. $\frac{1}{181}$ 181. $\frac{1}{182}$ 182. $\frac{1}{183}$ 183. $\frac{1}{184}$ 184. $\frac{1}{185}$ 185. $\frac{1}{186}$ 186. $\frac{1}{187}$ 187. $\frac{1}{188}$ 188. $\frac{1}{189}$ 189. $\frac{1}{190}$ 190. $\frac{1}{191}$ 191. $\frac{1}{192}$ 192. $\frac{1}{193}$ 193. $\frac{1}{194}$ 194. $\frac{1}{195}$ 195. $\frac{1}{196}$ 196. $\frac{1}{197}$ 197. $\frac{1}{198}$ 198. $\frac{1}{199}$ 199. $\frac{1}{200}$ 200. $\frac{1}{201}$ 201. $\frac{1}{202}$ 202. $\frac{1}{203}$ 203. $\frac{1}{204}$ 204. $\frac{1}{205}$ 205. $\frac{1}{206}$ 206. $\frac{1}{207}$ 207. $\frac{1}{208}$ 208. $\frac{1}{209}$ 209. $\frac{1}{210}$ 210. $\frac{1}{211}$ 211. $\frac{1}{212}$ 212. $\frac{1}{213}$ 213. $\frac{1}{214}$ 214. $\frac{1}{215}$ 215. $\frac{1}{216}$ 216. <

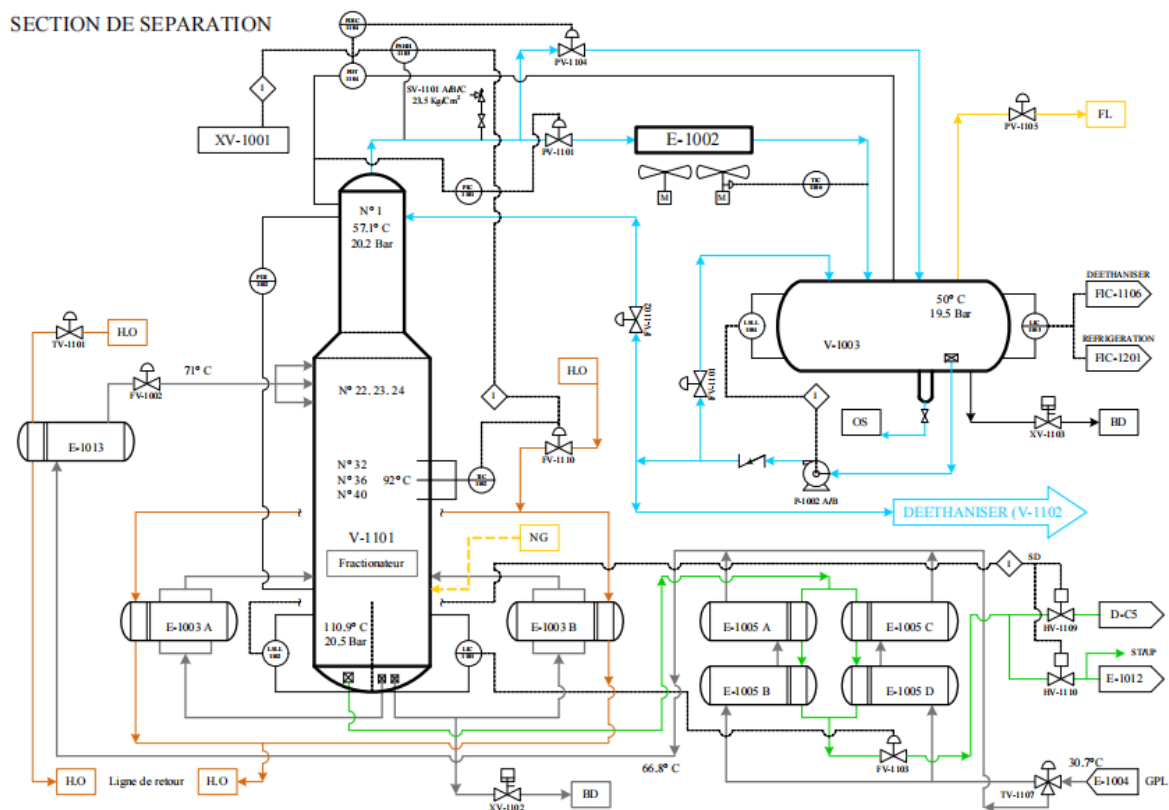


Figure II. 5: Schema du Fractionnateur

a. Dééthaniseur

Cette colonne de fractionnement est mise en service lorsque le rapport molaire $C2/(C2 + C3)$ dans la charge est supérieur ou égal à 4,8 %. Elle permet le traitement du produit de tête. La charge est habituellement introduite en liquide sous-refroidi (50 °C), la pression au cœur de la colonne est de 22 kg/cm². Cette unité sert à extraire le C2.

b. Dépéthaniseur

Le dépéthaniseur, destiné au traitement du produit de fond, est mis en service lorsque la teneur molaire $C5/(C5 + C4)$ est supérieure ou égale à 1,75 %. Le produit est alimenté à 60 °C et à 7 kg/cm². Noter qu'il s'agit d'un dépéthaniseur unique pour tous les trains. Il est utilisé pour la séparation du C5.

II.3.1.4. Section réfrigération

La fonction de cette section est de refroidir les produits jusqu'aux conditions de stockage, à savoir -38 et -42 °C pour le propane (C3) et -8 et -10 °C pour le butane (C4). Le propane est en premier lieu transféré vers un deuxième déshydrateur, appelé déshydrateur de garde, qui permet d'abaisser la concentration en eau de 5 à 1 ppm. Puis il est refroidi dans trois échangeurs,

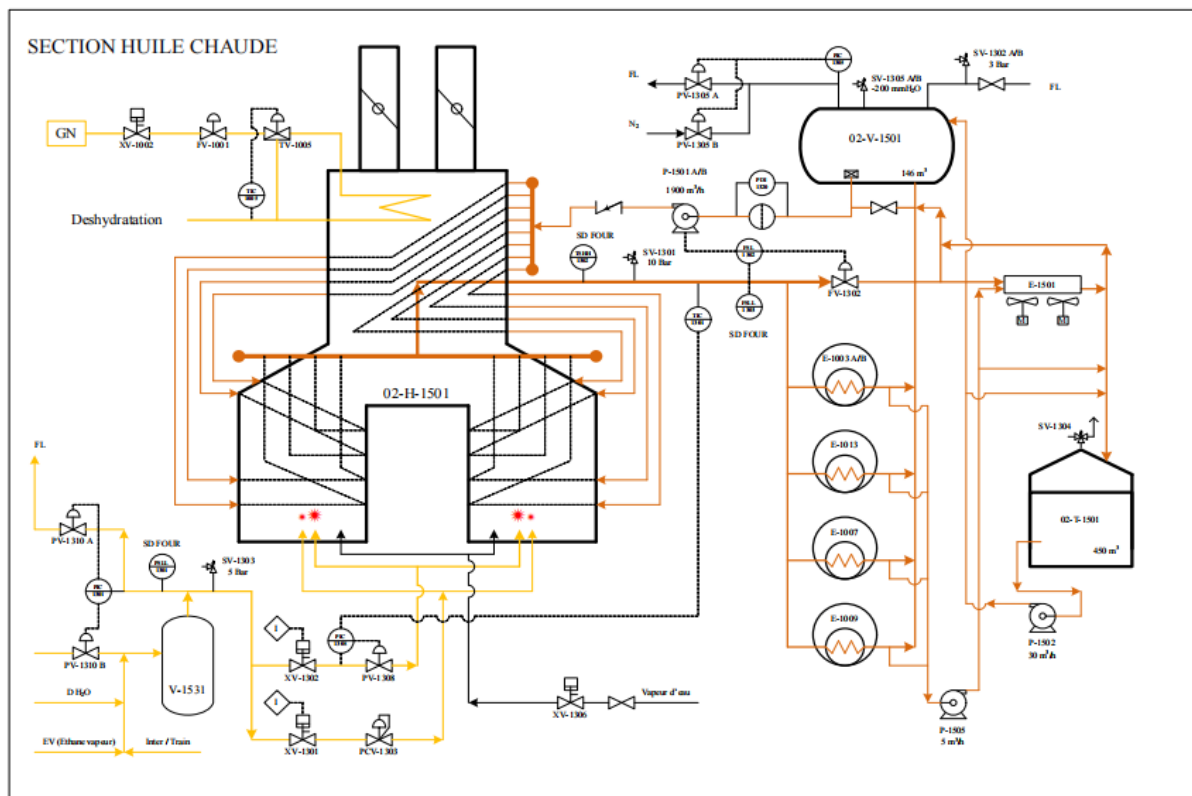


Figure II. 7: Section de l'huile chaude

II.3.1.6. Section de stockage des produits finis

Il existe deux types de stockage :

a. Stockage à basse température :

Cet est destinée au marché international. Elle est équipée de :

- Quatre (4) bacs pour le Propane de 70.000 m3 chacun.
- Quatre (4) bacs pour le Butane de 70.000 m3 chacun.

b. Stockage à température ambiante :

Cette section est destinée au marché national et est équipée de :

- Deux sphères (2) pour le Propane de 500 m3 chacune.
- Deux sphères (2) pour le Butane de 500 m3 chacune.
- Une sphère (1) de 500 m3 pour le Pentane



Figure II. 8: Stockage de propane et de butane

Le service stockage et expédition gère les zones suivantes :

a) Section de reliquéfaction des vapeurs (Boil of Gas BOG)

La section de reliquéfaction des vapeurs (BOG), a pour but le contrôle de la pression dans les réservoirs de stockage à basse température, pendant le stockage et les opérations de chargement. Les vapeurs excédentaires récupérées sont comprimées pour être reliquéfiées sous forme de condensats réfrigérés aux réservoirs à basse température. [18]

Le contrôle est assuré par deux salles :

- LCR (Local Control Room) : elle gère les opérations de stockage des produits finis ; section récupération BOG (gaz évaporé).
- JCR (Jetty Control Room) : elle supervise les opérations de chargement par navire.

b) Section jetée (CN)

Cette section contient deux quais D1 et M6 et s'occupe des enlèvements par navire.

c) Section Chargement par Camion (CC)

La section gère les enlèvements par camion au niveau de la rampe de chargement par camion pour NAFTAL et les opérateurs privés. Elle est dotée de 5 réservoirs sphériques, de pompes et de bras de chargement. Ces installations sont conçues de manière à permettre le chargement simultané du propane, pentane et butane.

II.4. Description du système industriel de contrôle au GP1Z :

Les installations industrielles du complexe reposent sur une architecture divisée en plusieurs grands systèmes technologiques interconnectés.

Parmi les systèmes industriels les plus importants du complexe GP1/Z, on distingue les systèmes suivants :

II.4.1. Le système d'expédition et d'enlèvement

Ce système assure l'acheminement des produits finis (butane, propane et mélanges) vers les marchés nationaux et internationaux.

Quais de chargement maritimes : Deux (02) terminaux maritimes dédiés au chargement des navires méthaniers/butaniers pour l'exportation.

Rampe de chargement routière : Destinée au remplissage des camions-citernes pour la distribution nationale, notamment via l'entreprise Naftal.

Pipeline de transfert : Expédie directement le GPL vers les infrastructures de distribution de trois wilayas environnantes. [18]

II.4.2. Le système des utilités (Utilities)

Il fournit l'ensemble des fluides et de l'énergie nécessaires à la continuité du processus industriel.

- Réseau d'eau de refroidissement : Pompage, traitement et distribution de l'eau (souvent de l'eau de mer purifiée ou des circuits fermés) pour les condenseurs.
- Système d'air comprimé : Fournit l'air de service et l'air d'instrumentation (indispensable pour l'actionnement automatique des vannes de régulation).
- Réseau de vapeur et de gaz combustible : Alimente les rebouilleurs et les fours du procédé.

II.4.3. Le système de sécurité et de protection de l'environnement

Compte tenu de la haute inflammabilité des produits traités, ce système fait l'objet d'une surveillance stricte.

- Réseau de torches : Collecte et brûle en toute sécurité les surpressions accidentelles ou les gaz rejetés lors des phases de démarrage ou d'arrêt d'urgence.
- Système de détection de gaz et d'incendie : Capteurs de flammes et de fuites d'hydrocarbures couplés à des déluges d'eau automatiques autour des sphères et des bacs.
- Système d'arrêt d'urgence (ESD - Emergency Shutdown) : Automates de sécurité capables d'isoler un train complet ou l'ensemble du site en quelques secondes en cas d'anomalie critique. [18]

II.4.4. Le système de contrôle DCS (Distributed Control System) :

Est un système de régulation de procédé qui a été développé en visant un objectif plus large à savoir l'intégration totale d'une usine. Il répond à un ensemble complet de besoins de l'exploitation et de la gestion des usines. Il apporte une souplesse maximale tout en proposant des solutions rentables à chaque besoin de gestion des procédés. [10]

Il existe 6 salles de contrôle :

- Salle de contrôle principal (MCR)
- Salle de contrôle local (LCR)
- Salle de chargement par camions (CCR)
- Salle de contrôle de supervision (SVR)
- Salle de contrôle sécurité

L'avènement des DCS (Distributed Control System) a permis de réaliser des interfaces permettant d'apporter une aide précieuse au personnel exploitant par :

- La mise en œuvre d'interface Homme-Machine flexible et conviviale
- Une amélioration des conditions de travail par une meilleure adaptation entre l'équipement et son utilisateur
- Une prédiction efficace et des diagnostics précis
- Une localisation rapide des anomalies
- Une maintenance ciblée
- La possibilité d'améliorer l'interface Homme-Machine en réalisant de simples modifications software.

Le DCS est un système de contrôle et de commande de procédé avec intelligence répartie dans les différents modules. Il a été développé en visant un objectif plus large à savoir l'intégration totale d'une usine. [10]

Le DCS opté est de conception Honeywell avec deux versions différentes :

Phases I et II: TDC 3000 // Phase III : Experion PKS.

Remarque : Les phases I et II ont été dotées d'une plate-forme PKS ajoutée avec TDC 3000 en vue d'une migration vers PKS dans le futur. [10]

II.4.4.1 Présentation du TDC 3000

Le système Honeywell TDC 3000 repose principalement sur deux réseaux de communication industriels :

- Le réseau local de commande (LCN : Local Control Network) ;
- Le réseau universel de commande (UCN : Universal Control Network).

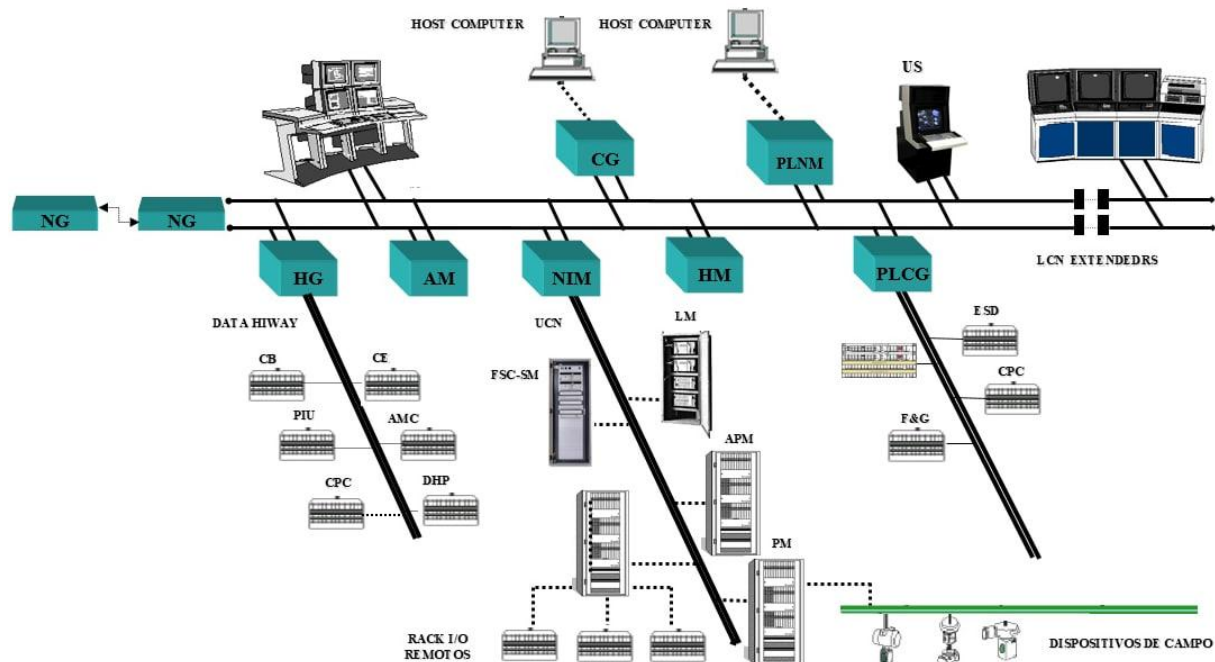


Figure II. 9: Architecture du Honeywell DCS TDC 3000

II.4.4.2. Description du réseau de commande LCN

Le réseau LCN constitue le réseau principal du système Honeywell TDC 3000. Il assure la communication série entre les différents équipements du système. Ce réseau est redondant afin d'augmenter la fiabilité de fonctionnement grâce à deux voies de communication : LCN A et LCN B.

Les principaux modules du réseau LCN sont :

- Les stations universelles (UxS) ;
- Le module historique (HM) ;
- Le module d'application (AM) ;
- Le module d'interface réseau (NIM).

II.4.4.3. Le Système Experion PKS™ Honeywell

Le système Experion PKS™ est un Système Intégré robuste de Contrôle Commande Distribué, qui dispose du meilleur de la technologie disponible. Le Système SM PKS s'intègre entièrement dans Experion PKS™ ce qui se traduit par une fenêtre unique sur le Procédé couvrant à la fois le Contrôle, la Logique, l'ESD, le F&G et le BMS. [10]

Les particularités du système Experion PKS™ sont :

- Vues de détail, synoptiques personnalisés, gestionnaire d'alarmes, d'historiques et de rapports, le tout intégré
- Serveur redondant utilisant Windows
- Interface commune pour la conduite de procédés et la logique
- Base de données et diagnostics intégrés dans les contrôleurs de procédé et contrôleurs logiques.
- Outils de développement graphiques orientés objets
- Environnement hiérarchisé pour la construction du contrôle
- Stratégies de contrôle commande entièrement auto-documentées

II.4.5. Le Système Triconex

TRICONEX est un automate programmable (PLC) tri redondant. Le rôle de ce système est d'assurer l'arrêt d'urgence (emergency shut down) des trains de procédé, charges et utilités et OFFSITE. [10]

II.4.5.1. Le système CCC (Compresseur Control Corporation)

Dans la plupart des procédés de l'industrie pétrochimique, les compresseurs sont utilisés pour transporter ou comprimer des gaz. Le système CCC utilisé à GP1Z comme un système de contrôle et de protection contre le phénomène de pompage des compresseurs propanes des sections schilling des six trains du procédé. [10]

II.4.5.2. Les Détecteurs de Gaz

Un ensemble de 353 détecteurs de gaz est installé à GP1Z. Ces détecteurs sont câblés jusqu'aux centrales d'affichage et sont intégrées dans les salles de contrôle MCR, LCR, SCR et JCR. [10]

II.4.6. Système de production de vapeur

La vapeur est utilisée dans de nombreuses utilités du procédé. Elle assure en premier lieu le traçage des lignes et instruments de mesure, permettant le maintien en température des conduites sensibles. Elle est également employée dans les unités SIDEM pour évaporer l'eau de mer pulvérisée dans les cellules, ainsi que dans le réchauffeur de Gaz Naturel afin d'augmenter la température du gaz au-delà de 25°C. Le surchauffeur du BOG-C4 utilise aussi la vapeur pour porter la température du Butane à plus de 15°C. Au niveau du four, elle intervient lors des opérations de démarrage, de décokage et d'étouffement. Les dégazeurs font appel à la vapeur pour séparer les gaz dissous contenus dans l'eau drainée des capacités hors-

service. La torche utilise la vapeur pour diluer la fumée et refroidir le bec. Enfin, les vaporisateurs de vide-vite s'en servent pour évaporer les produits liquides drainés, et les réchauffeurs C3/C4 l'utilisent dans la section de transfert pour chauffer le Propane et le Butane à basse température. [17]

II.5. Contraintes industrielles et normes de sécurité (, API, etc.)

Les contraintes industrielles et normes de sécurité dans le complexe de séparation et de liquéfaction **GP1Z de Sonatrach (Béthioua)**, dédié aux GPL et GNL, exigent une gestion rigoureuse des risques d'explosion et d'incendie. Ce site hautement stratégique est régi par une combinaison stricte de réglementations nationales (ICPE) et de standards internationaux (API, ISO, CEI).

II.5.1. Cadre Réglementaire et Risques Majeurs (GP1Z)

Le complexe GP1Z traite des volumes massifs de gaz (éthane, propane, butane) présentant des plages d'explosivité et d'inflammabilité très strictes (ex : 5 % à 15 % pour le gaz naturel)

- **Législation Algérienne :** Les installations sont soumises à la législation sur les **ICPE** (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement). Cela impose la réalisation d'Études d'Impact Environnemental (EIE) et d'Études de Dangers.
- **Gestion des Risques :** Les contraintes physiques (pressions, températures basses, volumes de stockage) exigent des analyses systématiques via des méthodes telles que le HAZOP, l'Arbre des causes et la modélisation des conséquences (dispersion, incendie type BLEVE ou explosion). [17]

II.5.2. Normes Américaines (API) : L'intégrité des équipements

L'**API (American Petroleum Institute)** fournit les standards de conception, de fabrication et d'inspection du matériel pétrolier :

- **API 618 / 617 :** Spécifications pour les compresseurs (essentiels pour les trains de liquéfaction et le traitement du gaz).
- **API 520 / 521 / 526 :** Dimensionnement, sélection et installation des dispositifs de décharge de pression et soupapes de sécurité.
- **API 510 / 570 :** Normes régissant l'inspection en service, les réparations et les altérations des équipements sous pression et des tuyauteries.
- **API 2510 :** Conception des installations de stockage de GPL (sphères et réservoirs réfrigérés comme ceux du GP1Z). [19]

II.5.3. Normes Internationales (ISO) : Management et Laboratoire

Les normes ISO garantissent la maîtrise globale des processus, de l'environnement et de la sécurité.

- **ISO 14001** : Systèmes de management environnemental pour minimiser les impacts et [7]rejets (torches, événements).
- **ISO 45001** : Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail (SST).
- **ISO/CEI 17025** : Spécifique aux laboratoires. Les laboratoires du complexe GP1Z sont accrédités selon cette norme pour garantir la fiabilité des analyses physico-chimiques du GPL (chromatographie en phase gazeuse, etc.) [20]

II.5.4. Normes Internationales (CEI/IEC) : Systèmes instrumentés de sécurité

La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est cruciale pour l'instrumentation et la sûreté des procédés

- **CEI 61508** : Standard fondamental pour la sécurité fonctionnelle des systèmes électriques, électroniques et électroniques programmables (E/E/EP) liés à la sécurité.
- **CEI 61511** : Dérivée de la CEI 61508, cette norme définit la manière de concevoir, d'exploiter et de maintenir les **SIS (Systèmes Instrumentés de Sécurité)**. Elle permet de déterminer et d'atteindre le niveau d'intégrité de sécurité requis (**SIL - Safety Integrity Level**) pour chaque boucle critique (ex : vannes d'arrêt d'urgence, systèmes de détection de gaz/incendie). [21]

II.6. Problématique et cahier des charges

II.6.1. Problèmes constatés avant le stage

Les chaudières industrielles anciennes reposent généralement sur des systèmes de commande à logique câblée, utilisant des relais ainsi que des dispositifs de programmation mécaniques. Même si ces technologies ont garanti un fonctionnement stable durant de longues années, elles présentent aujourd'hui plusieurs inconvénients. Parmi ceux-ci figurent une maintenance difficile, une détection des pannes peu aisée, un manque de souplesse pour modifier les séquences de fonctionnement, ainsi qu'une absence de systèmes modernes de supervision. Ces limites peuvent impacter négativement la sécurité, la disponibilité et les performances globales de la chaudière.

Avec l'évolution rapide des technologies d'automatisation industrielle, il devient essentiel d'envisager des solutions de modernisation de ces installations sans altérer leur principe de fonctionnement initial. Ainsi, la problématique principale de ce mémoire consiste à étudier la transition d'une chaudière industrielle à logique câblée vers un automate programmable et une HMI de type Siemens, tout en préservant les séquences existantes, en renforçant la fiabilité et la sécurité du système, et en intégrant des outils de supervision et de commande conformes aux exigences actuelles de l'industrie.

II.6.2. Besoins exprimés par l'entreprise

La synthèse des besoins de modernisation du système automate et IHM

Catégorie	Besoins Exprimés (Ancien système)	Solution & Valeur Ajoutée (Automate /HMI)
Fonctionnement & contrôle	Réglages manuels des vannes et séquences de démarrage par relais physiques complexes.	Automatisation complète : Contrôle précis du niveau/pression via PID et séquences de démarrage/arrêt sécurisées sur l'IHM.
Communication & Supervision	Système isolé sans retour d'état à distance (aveugle).	Connectivité Industrielle : Intégration Modbus/PROFINET permettant la visualisation temps réel sur SCADA et l'archivage des données.
Maintenance & Évolutivité	Diagnostic difficile (recherche de pannes sur câblage) et modifications matérielles lourdes.	Diagnostic Intelligent : Alertes centralisées sur l'IHM, modification du programme sans recâblage et sauvegarde instantanée.

Tableau II. 1: La modernisation du système automate et IHM

II.6.3. Objectifs techniques à atteindre

Le but de ton travail est de passer d'un système "aveugle et rigide" à un système "intelligent et flexible".

Axe Technique	Objectifs Spécifiques (Le BUT)	Résultat Attendu
Automatisation & Régulation	Remplacer la logique câblée par un programme API gérant les boucles de régulation (PID) du niveau d'eau et de la pression de vapeur.	Précision accrue des consignes et suppression des erreurs de manipulation humaine lors des phases critiques.
Interface Homme-Machine (IHM)	Développer une interface graphique intuitive permettant le pilotage en temps réel, la modification des paramètres et l'affichage des courbes de tendance.	Centralisation du contrôle et amélioration de la réactivité de l'opérateur face aux variations du process.
Sécurité & Diagnostic	Implémenter un système de gestion des alarmes hiérarchisé et des séquences d'arrêt d'urgence automatisées (sécurité positive)	Réduction drastique des temps de dépannage grâce à l'identification immédiate de la source de panne sur l'écran

Tableau II. 2 Objectifs techniques à atteindre

II.7. Etude technique du système étudiier (Chaudière à tube d'eau)

Les chaudières industrielles sont des équipements importants pour la génération de vapeur ou d'eau chaude utilisés dans divers processus d'industrialisation. On peut décrire deux principales technologies de chaudières, soit des chaudières à tube d'eau et chaudière à tube de fumées. La chaudière à tube de fumée fonctionne sur le principe où les produits du feu sont dirigés à l'intérieur de tubes qui sont placés dans l'eau, constituant une technologie solide et efficace pour une utilisation dans les conditions moyennes de pression. Par contre, la chaudière à tube d'eau, qui sera analysée dans cet ouvrage, fonctionne au principe contraire – l'eau passe à l'intérieur des tubes alors que les produits de feu la bordent de l'extérieur. Cela rend cette technologie capable de fournir plus d'énergie, ainsi que des performances accrues. [22]

II.7.1. Le fonctionnement du système étudiier

II.7.1.1. Présentation

La chaudière à tubes d'eau produit un débit de vapeur saturée supérieur à 20 t/h, à moyenne et haute pression. Elle ne présente pas de limite de taille ni de pression mais elle est plus chère que les chaudières à tubes de fumées. Le combustible utilisé est soit du gaz, du fioul, du charbon ou déchets. Dans la chaudière à tubes d'eau il y a des tubes à l'intérieur desquels circule l'eau et à l'extérieur de ces tubes circulent les fumées de combustion selon un principe de fonctionnement qui sera détaillé par la suite. [23]



Figure II. 10: Chaudière à tube d'eau

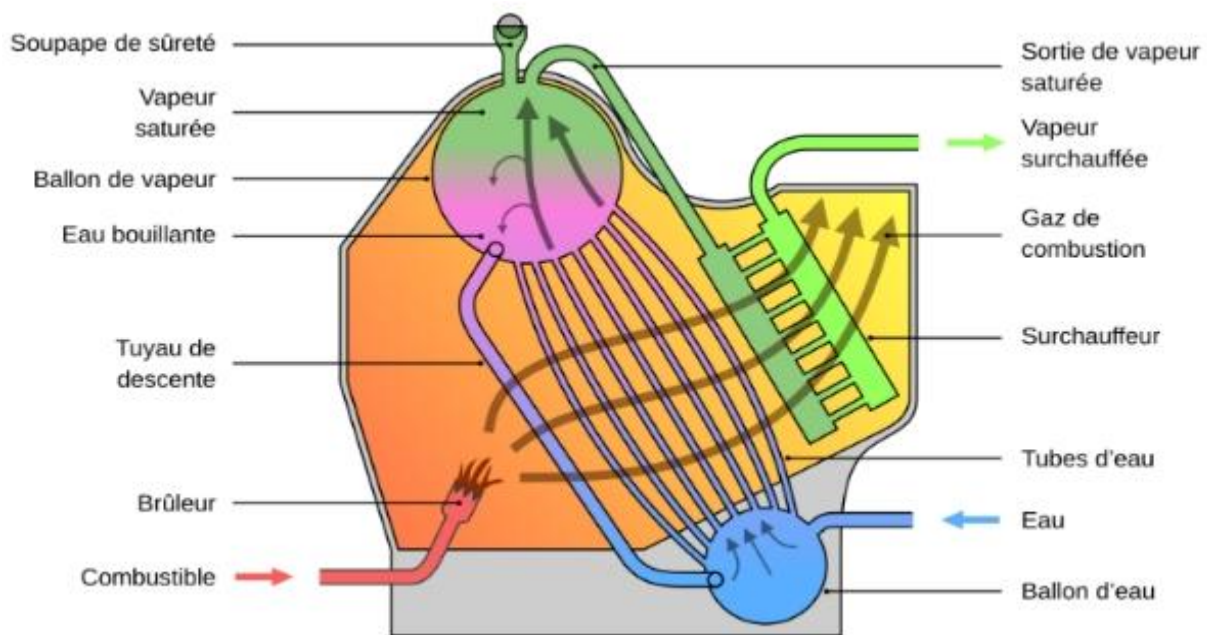


Figure II. 11: Schema d'une chaudière à tube d'eau avec surchauffeur

II.7.1.2. Principe de fonctionnement des chaudières à tubes d'eau

Les chaudières à tuyauterie tubulaire contiennent essentiellement deux réservoirs, dont le premier est appelé le réservoir supérieur et le second est appelé le réservoir inférieur, tous deux étant connectés par des tuyaux au sein desquels circule l'eau sous l'effet du système de thermosiphon. L'eau est convertie en vapeur dans les tuyaux vaporisateurs qui sont entourés des gaz chauffants qui proviennent du brûleur. La vapeur est stockée dans le réservoir supérieur, pendant que l'eau non vaporisée est envoyée au réservoir inférieur par des tuyaux appelés les tuyaux de chute, qui ne sont pas soumis à la chaleur. Pour les chaudières hautement pressurisées, une pompe peut également être installée afin de favoriser la circulation de l'eau. En outre, une certaine quantité de vapeur saturée peut être introduite dans le fourneau afin d'être surchauffée et donner naissance à la vapeur surchauffée. [23]

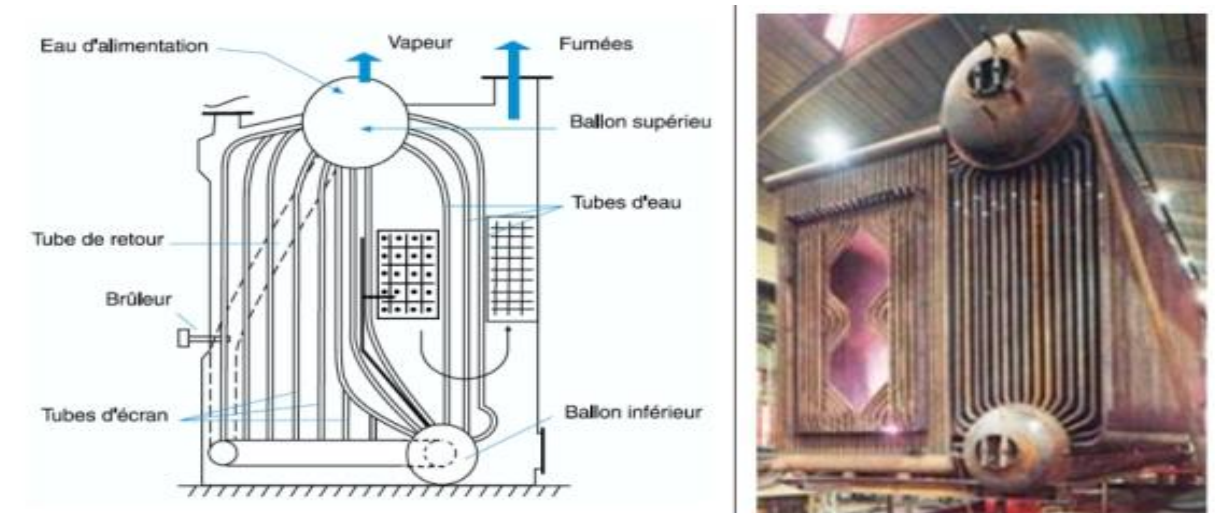


Figure II. 12: Schéma d'une chaudière à tube d'eau

II.7.1.3. Les principaux circuits d'une chaudière à tubes d'eau

Le fonctionnement de ce type de chaudière fait intervenir deux circuits :

- Un circuit Eau/vapeur : transforme de l'eau en vapeur afin d'obtenir une vapeur à 180~200°C et 10~12bar
- Un circuit air/gaz : produit de la chaleur par la combustion [23]

II.7.1.4. Circuit de production de vapeur (eau/vapeur)

- Traitement de l'eau : L'eau d'alimentation des chaudières est stockée dans une bache. Elle est un mélange d'eau qui provient des condensats de vapeur en retour après utilisation et l'eau déminéralisée. Après, l'eau est aspirée par une pompe et refoulée dans le dégazeur pour éliminer l'oxygène (O₂).
- Chauffage de l'eau : L'eau d'alimentation entre dans un économiseur. Elle subit un chauffage par les fumées produites lors de la combustion qui cèdent leur chaleur à l'eau d'alimentation avant de passer au ballon supérieur.
- Stockage de l'eau dans le ballon supérieur : L'eau venant de l'économiseur est stockée au niveau du ballon supérieur. Après, l'eau passe à travers des tubes appelés tubes écrans (tubes d'eau) qui sont exposés directement aux flammes.
- Passage par les surchauffeurs : Si la température désirée de la vapeur n'est pas à 180°C à 200°C ou si la vapeur contient encore des goûtes d'eau, on a recouru aux surchauffeurs. Il consiste à faire passer la vapeur par des serpentins dans la chambre de combustion, ces derniers seront exposés à la chaleur fournie par la fumée. Ainsi on aura du vapeur surchauffé. [23]

II.7.1.5. Circuit de combustion Air/Gaz

Dans le circuit air/gaz, comburant (air) aspiré par le ventilateur de soufflage à l'atmosphère est envoyé dans les brûleurs. Il est ensuite envoyé dans la chambre de combustion.

L'oxygène de l'air se combine alors avec le combustible en introduisant de la chaleur et les fumées. Ces fumées passent ensuite par les tubes de l'économiseur pour chauffer l'eau d'alimentation avant d'être évacuées vers l'atmosphère. La figure suivante schématise ce circuit [23]

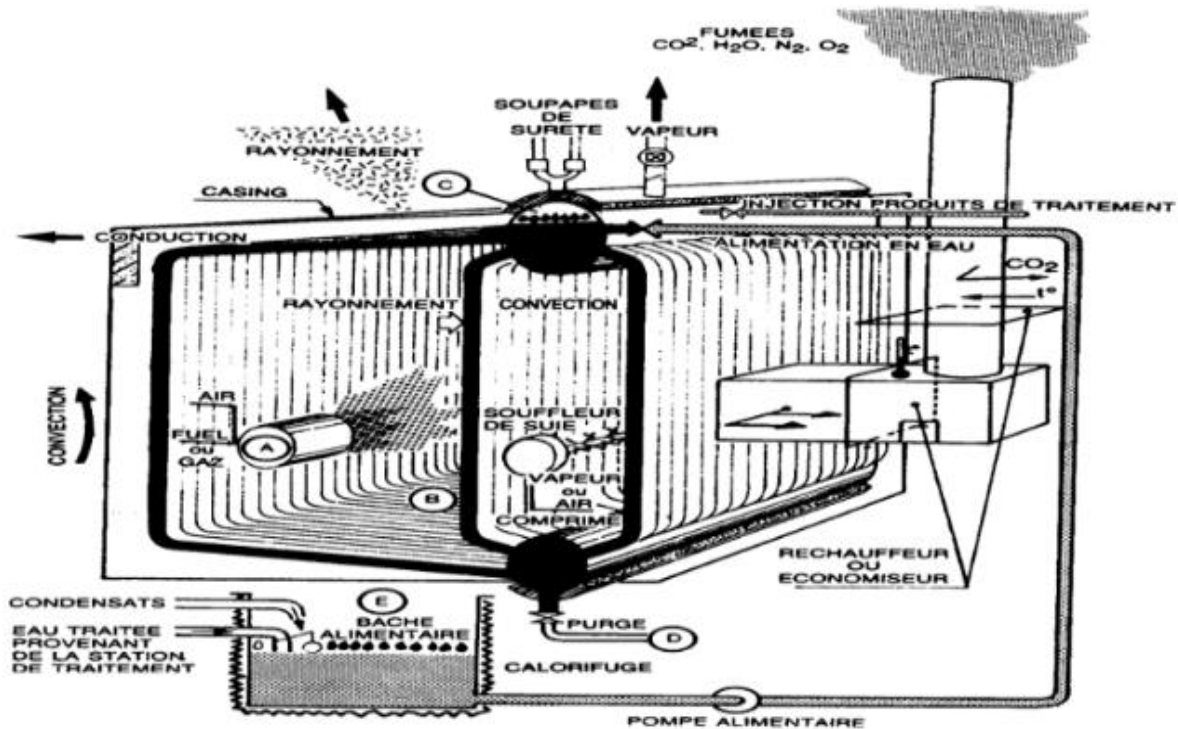


Figure II. 13: Vue de la structure interne d'une chaudière à tube d'eau

II.7.2. Les composants du system étudiier

Les chaudières industrielles à tubes d'eau sont constituées d'un ensemble d'organes mécaniques, thermiques et de contrôle, assurant la combustion, l'échange thermique, la circulation du fluide et l'évacuation des fumées.

II.7.2.1 Actionneurs et sorties (Vannes Solénoïdes & Registre D'air

NOM / TAG	DÉSIGNATION DE L'ÉQUIPEMENT	TYPE DE SIGNAL	FONCTION / RÔLE DANS LA CHAUDIÈRE
Air Damper	Registre d'Air de Combustion (Combustion Air Damper) Actionneur pneumatique Sortie PLC	4- 20 mA DC INST.AIR	Contrôle le débit d'air comburant admis vers le Brûleur. Positionné proportionnellement à la Demande de combustion.
VG1	Vanne Solénoïde Gaz Brûleur N°1 –XV-6770	DO Signal TOR	Ouvre ou ferme l'alimentation en gaz Combustible du Brûleur principal

Chapitre II : Présentation du cadre industriel et le système étudié

VG2	Vanne Solénoïde Gaz Brûleur N°2 –XV-6771, NO (fermée hors tension)	DO Signal TOR	Ouvre ou ferme l'alimentation en gaz Combustible du Brûleur principal (circuit No.2).
VGP1	Vanne Solénoïde Gaz Pilote N°1 – XV-6772	DO Signal TOR	Ouvre ou ferme l'alimentation en gaz du brûleur pilote (circuit, No.1). Activée en début de séquence.
VGP2	Vanne Solénoïde Gaz Pilote N°2 – XV-6773	DO Signal TOR	Ouvre ou ferme l'alimentation en gaz du brûleur pilote (circuit, No.2). Activée en début de séquence
VFP	Vanne de Contrôle Débit Vapeur	DO Signal TOR	Contrôle le débit de vapeur vers le réseau
SV	Vanne Solénoïde Nettoyage.	DO Signal TOR	Commande par le circuit de nettoyage de panneau (purge de pressurisation).

Tableau II. 3: ACTIONNEURS ET SORTIES (Vannes Solénoïdes & Registre)

II.7.2.2. Limit switches & capteurs tout-ou-rien

NOM/ TAG	DÉSIGNATION DE L'ÉQUIPEMENT	TYPE DE SIGNAL	FONCTION / RÔLE DANS LACHAUDIÈRE
PLS	Fin de Course Purge Registre Pleine Ouverture	DI Signal TOR	Confirme l'ouverture complète du registre d'air avant purge du foyer. Condition Nécessaire au démarrage de la Séquence brûleur
SPS	Fin de Course Registre – Position Départ	DI Signal TOR	Confirme la position de départ minimale du registre d'air pour le début de la séquence de purge.
LFS2	Fin de Course Registre – Position Bas. (FEU)	DI -Signal TOR	Indique que le registre d'air est en position bas feu (débit minimum)
LS1	Fin de Course Vanne Gaz XV-6772	DI - Signal TOR	Confirme la position (ouverte ou fermée) de la vanne solénoïde gaz principal XV-6772.
LS2	Fin de Course Vanne Gaz XV-6773	DI - Signal TOR	Confirme la position (ouverte ou fermée) de la vanne solénoïde gaz principal XV-6773
BEL	Détecteur Niveau Extrêmement Bas Tambour.	DI - Signal TOR	Détecte un niveau d'eau extrêmement bas dans le tambour. Déclenche le trip immédiat de la chaudière pour éviter la surchauffe des tubes.

Chapitre II : Présentation du cadre industriel et le système étudié

BHW	Détecteur niveau Haut Tambour.	DI - Signal TOR	Détecte un niveau d'eau trop élevé dans le tambour. Génère une alarme et la fermeture de vanne LCV-6770
RFSG	Détecteur de Flamme – Signal UV	DI - Signal TOR	Confirme en permanence la présence de flamme brûleur par détection ultraviolette. En Cas d'absence de signal : arrêt d'urgence immédiat.
PS-6773	Pressostat Haute pression Ballon supérieur	DI - Signal TOR	Déclenche l'arrêt d'urgence immédiat de la chaudière en cas de surpression critique du tambour vapeur.
PS-6774	Pressostat basse pression air instrument	DI - Signal TOR	Surveille la pression de l'air instrument (air de commande des vannes pneumatiques).
LAP	Pressostat Basse Pression Air Combustion	DI - Signal TOR	Surveille la pression d'air de combustion fournie par le ventilateur FDF.
PS1	Pressostat Haute Pression Gaz (300mmH2O)	DI - Signal TOR	Détecte une pression excessive (seuil 300 mmH2O) protection l'alimentation électrique au panneau
PS2	Pressostat Basse Pression Gaz (50mmH2O)	DI - Signal TOR	Second seuil de surveillance basse pression Air (50 mmH2O). Utilisé pour la protection du panneau.
ITX	Transformateur élévateur de tension	5KV	L'ITX est le composant électrique qui crée la haute tension nécessaire pour générer l'étincelle qui allume la veilleuse (pilote), afin de démarrer le brûleur de la chaudière.
PSV	La Rampe de Régulation et de Détente de Gaz	4-20 mA	La rampe de gaz détend la haute pression du réseau à un niveau bas sécurisé, puis la régule de manière continue pour la maintenir parfaitement stable face aux variations de consommation de la chaudière.
PGL	Pressostat Basse Pression Gaz Pilote	DI - Signal TOR	Détecte une basse pression sur le circuit gaz Pilote. Empêche l'allumage ou provoque l'arrêt du brûleur si la pression pilote est insuffisante.

Tableau II. 4: LIMIT SWITCHES & CAPTEURS TOUT-OU-RIEN (Entrées Digitales DI)

II.7.2.3. Vannes de régulation & solénoïdes

NOM/ TAG	DÉSIGNATION DE L'ÉQUIPEMENT	TYPE DE SIGNAL	FONCTION / RÔLE DANS LA CHAUDIÈRE
LCV-6770	Vanne de Régulation Niveau Eau Tambour	AO - 4- 20 mA DC Air supplie 2.6 KGF/CM	Régule en continu l'alimentation en eau D'appoint du tambour pour maintenir le niveau Consigne (contrôlée par LICA-6770).
FVC-6679	Vanne de Régulation Débit Gaz Combustible	AO - 4- 20 mA DC Air supplie 2.6 KGF/CM	Régule le débit de gaz combustible vers le brûleur principal pour contrôler la production de vapeur.
MCV-6778	Vanne de Régulation Vapeur Principale	AO - 4- 20 mA DC Air supplie 2.6 KGF/CM	Régule la fourniture de vapeur au réseau consommateur selon la demande.

Tableau II. 5: VANNES DE RÉGULATION

II.7.2.4. Transmetteurs & capteurs analogiques.

NOM/ TAG	DÉSIGNATION DE L'ÉQUIPEMENT	TYPE DE SIGNAL	FONCTION / RÔLE DANS LA CHAUDIÈRE
PT-6770	Transmetteur de Pression Tambour	AI - 4-20 mA DC 0 → 15 KGF/CM²	Mesure en continu la pression vapeur dans le tambour. Signal transmis à l'API pour la régulation de la combustion (FCV-6770 + Damper)
LT-6770	Transmetteur de Niveau Tambour	AI -4-20 mA	Mesure le niveau d'eau dans le tambour pour commander la vanne d'alimentation en eau LCV-6770
FST-6770	Transmetteur de Débit Vapeur	AI - 4 -20 mA DC(0→25T/h)	Mesure le débit de vapeur produite. Signal envoyé au PLC pour affichage et surveillance de la production vapeur
PTL-6770	Transmetteur Pression Basse Gaz Combustible	AI -4 -20 mA DC0.35→ 35bar	Mesure la pression basse côté brûleur du gaz combustible.
PTH-6770	Transmetteur Pression Haute Gaz Combustible	AI -4 -20 mA DC0.35→ 35bar	Mesure la pression haute du réseau d'alimentation gaz. Protection contre surpression et surveillance de la disponibilité du gaz combustible

Chapitre II : Présentation du cadre industriel et le système étudié

Tableau II. 6: TRANSMETTEURS & CAPTEURS ANALOGIQUES (Mesure continue).

NOM/ TAG	DÉSIGNATION DE L'ÉQUIPEMENT	TYPE DE SIGNAL	FONCTION / RÔLE DANS LA CHAUDIÈRE
ITX	Transformateur élévateur de tension	5kv	L'ITX est le composant électrique qui crée la haute tension nécessaire pour générer l'étincelle qui allume la veilleuse (pilote), afin de démarrer le brûleur de la chaudière.

Tableau II. 7: Transformateur ITX et la vanne PCV

SECTION GENERATRICE DE VAPEUR

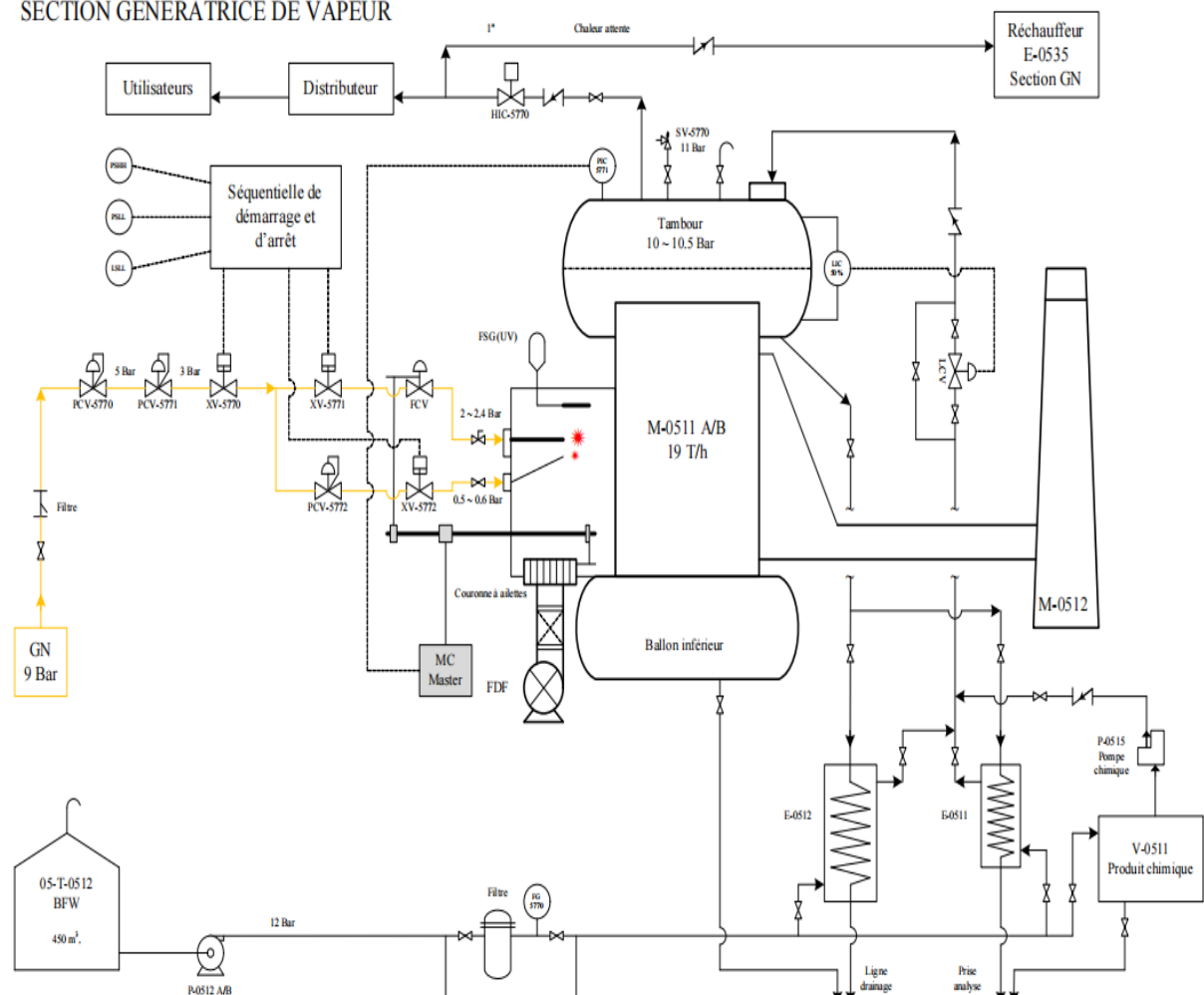


Figure II. 14: Description de la chaudière



Figure II. 15: transmetteur de gaz PTH



Figure II. 16: Détecteur de Flamme



Figure II. 17: Vanne de Régulation Débit Gaz Combustible

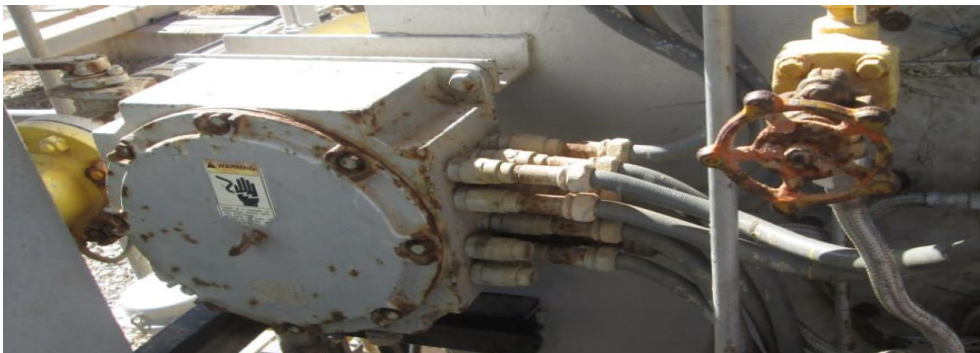


Figure II. 18: ITX transformateur élévateur



Figure II. 19: La rampe de régulation et de détente de gaz

II.8. Choix des solutions techniques

II.8.1. Choix de l'API

Le SIMATIC S7-1500 CPU 1511-1 PN est un automate programmable industriel (API) de nouvelle génération conçue par Siemens. Il se positionne comme l'unité centrale (CPU) d'entrée de gamme pour les applications de taille petite à moyenne. Nous avons choisi le CPU 1511-1 PN grâce à ces avantages :

- Performance Élevée
- Communication Avancée
- Facilité d'Utilisation
- Diagnostic Puissant
- Sécurité Renforcée
- Flexibilité et Évolutivité
- Économie d'Énergie
- Robustesse Industrielle

II.8.2. Choix des logiciels

La programmation de la solution automate s'est effectuée par le biais du logiciel TIA Portal V16 (Totally Integrated Automation Portal). Il s'agit d'une plateforme d'ingénierie qui permet une gestion unique de la configuration de l'automate, de la programmation du système et de son pilotage. La programmation a été réalisée dans le cadre d'un langage de programmation qui se nomme Ladder Diagram (LAD). Il s'agit d'un langage graphique basé sur la modélisation de la conception d'équipements de commandes électroniques par schéma électrique, couramment utilisé en automatisation industrielle par rapport à son accessibilité et facilité de lecture.

L'outil TIA Portal V16 a facilité le processus de programmation, de simulation ainsi que de test de l'application tout au long de ce projet.

II.8.3. Choix de l'IHM (Interface Homme-Machine)

Afin d'avoir la supervision et l'interaction avec le procédé industriel, il a été choisi comme interface homme-machine l'interface TP1200 Comfort. Celle-ci est une interface homme-machine appartenant à la gamme Comfort de Siemens qui assurent un confort dans l'interaction en offrant une interface graphique ergonomique pour l'opérateur permettant de suivre les paramètres du procédé industriel et également de voir les alarmes.

L'organisation de la conception et développement des interfaces graphiques a été effectuée via le logiciel WinCC flexible qui fait partie de l'environnement de TIA Portal. Ce dernier permet

D'implémenter les vues qui sont capables de montrer les variables du processus, la gestion des alarmes, de repérer les défauts, et enfin de superviser le processus industriel.

II.8.4. Protocole de communication

La communication entre l'automate programmable et l'IHM est assurée par le protocole PROFINET, un protocole de communication industrielle basé sur Ethernet industriel. Ce protocole garantit une transmission rapide, fiable et sécurisée des données entre les différents équipements du système automatisé, tout en assurant une bonne synchronisation des échanges en temps réel.

II.8.5. Simulation du système par PLC SIM

Afin de tester et de valider le fonctionnement du système automatisé avant son implantation réelle, une simulation a été réalisée à l'aide du logiciel PLCSIM de Siemens. Cet outil permet de simuler le comportement de l'automate programmable SIMATIC S7-1500 CPU 1511-1 directement sur ordinateur, sans nécessiter l'utilisation d'un matériel physique.

II.9. Conclusion

Ce travail a permis de mettre en évidence les limites des systèmes de commande à logique câblée utilisés pour le pilotage de la chaudière du complexe GP1/Z, notamment en matière de flexibilité, de maintenance et de sécurité.

La migration vers un automate programmable industriel (API) représente une solution moderne et adaptée, permettant d'améliorer la supervision, de faciliter le diagnostic des défauts et d'optimiser les séquences de fonctionnement, tout en conservant l'architecture fonctionnelle existante de la chaudière.

Chapitre III

Architecture de commande et de supervision du système

III.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter la démarche de modernisation du système d'automatisation de la chaudière, fondée sur une transition progressive d'une logique câblée traditionnelle vers une architecture entièrement programmée. Cette évolution a été conduite dans le strict respect du cahier des charges initial, en préservant la logique de fonctionnement et les séquences de commande existantes, tout en assurant une migration maîtrisée vers une logique programmée. Elle vise à moderniser l'infrastructure de contrôle et à simplifier les opérations de maintenance.

Des améliorations significatives ont également été apportées au niveau de la régulation, les anciens régulateurs, devenus obsolètes et d'une complexité peu adaptée aux exigences actuelles, ont été remplacés par des régulateurs PID intégrés, configurables via une interface homme-machine (IHM). Cette approche permet d'accroître la précision du contrôle, d'offrir une plus grande flexibilité de réglage et d'améliorer la supervision globale du procédé. On va présenter les différents éléments de programmation mis en œuvre sont présentés en détail, notamment les programmes principaux, les blocs de données (DB), les fonctions (FC), ainsi que les vues de l'automate et de l'interface de supervision (IHM), afin d'expliquer l'organisation et le fonctionnement de la nouvelle architecture automatisée.

III.2. Description technique du système étudiier

Le démarrage et le fonctionnement de la chaudière respectent une séquence bien définie et sécurisée, permettant d'assurer la protection de l'installation ainsi que le bon déroulement des différentes étapes de mise en service et de combustion.

III.2.1. Fonctionnement opérationnel de la chaudière à tubes d'eau Phase 2

Avant d'autoriser le démarrage de la chaudière, le système de contrôle doit vérifier que toutes les conditions de sécurité sont satisfaites. Parmi ces conditions :

- Disjoncteur principal (MCCB0) : **ON**
- Disjoncteur soufflante (MCCB01) : **ON**
- Disjoncteur pompe chimique N°1 (MCCB02) : **ON**
- Sélecteur brûleur (S0) : **STOP** (arrêt)
- Sélecteur moteur ventilateur (SF) : **AUTO**

➤ Pressurisation des panneaux de contrôle électriques :

Pressurisation des panneaux de contrôle électriques est un procédé qui vise à introduire de l'air pur ou de l'un de nos gaz inertes à l'intérieur de l'armoire pour préserver la pression positive. En effet, ce procédé vise à empêcher toute intrusion de gaz inflammable ou explosive, au sein du site industriel. Dans le cadre de l'utilisation des matériels électriques sur les sites industriels, une étape de purge est nécessaire, afin de limiter les dangers dus à la présence de mélanges potentiellement dangereux à l'intérieur de la caisse. il faut :

- L'ouverture de la vanne d'alimentation en air au niveau du panneau de contrôle
- Le sélecteur de l'alimentation (ATEX) électrique en 24 V automatique afin d'assurer la mise en service du système de commande.
- L'appui sur le bouton COS 1 afin de lancer la séquence de commande correspondante.

III.2.2. Séquence de démarrage à froid

Il faut vérifier le bon fonctionnement et la précision des instruments de mesure afin de garantir des valeurs correctes et fiables. Cette vérification permet d'assurer la sécurité du procédé et le bon déroulement de la séquence de démarrage de la chaudière. Les transmetteurs sont :

- PT-6770 (Transmetteur de Pression Tambour)
- LT-6770 (Transmetteur de Niveau Tambour)
- FST-6770 (Transmetteur de Débit Vapeur)
- PTL-6770 (Transmetteur Pression Basse Gaz Combustible)
- PTH-6770 (Transmetteur Pression Haute Gaz Combustible)

A. Phase 1 Préparation

Il faut inspecter l'absence de corps étrangers dans la chaudière et la tuyauterie, vérifier l'état du foyer et des conduits

Appuyer sur **SPL** pour ouvrir la vanne principale d'alimentation en eau, puis mettre le régulateur de niveau LICA (PID de niveau) en mode manuel et ouvrir la vanne de contrôle LCV-6770. Le niveau de la chaudière (ou du ballon) commence alors à augmenter progressivement. Surveiller l'évolution du niveau jusqu'à atteindre environ 50 %. À ce seuil, remettre le régulateur LICA en mode automatique afin d'assurer une régulation stable et sécurisée du niveau d'eau. Cette séquence permet un remplissage contrôlé et évite les variations brusques du niveau.

B. Phase 2 — Pré-purge du foyer et allumage

Mettre le commutateur de fonctionnement du brûleur (SO) (ATEX) sur **RUN**, et le programme de séquence suivant avance jusqu'à l'allumage du brûleur principal.

➤ Séquence de démarrage

Désignation du processus	Temps programme	Fonction de séquence
Démarrage du ventilateur (FDF)	0sec	Le registre d'air se ferme pour démarrer le ventilateur. Avec la fermeture du contact RF, le ventilateur démarre.
Purge préalable du four(balayage)	0sec	Le registre d'air s'ouvre. Lorsque le pressostat de fin de course (PLS) détecte l'ouverture complète du registre, le minuteur de purge (PT) démarre ainsi que la purge préalable du four pour une durée prédéfinie. À la fin de la purge, le relais de verrouillage (RI) est alimenté.
Démarrage du minuteur de programme	0sec	Avec le relais de verrouillage (RI) alimenté, le minuteur de programme (TM) démarre.
Réglage bas débit	20sec	20 secondes après le démarrage du minuteur TM de programme, le moteur du registre tourne vers sa position de diminution afin d'établir le réglage bas débit.
Allumage du brûleur pilote	55sec	Le transformateur d'allumage (ITX) est alimenté pendant 5 secondes. Simultanément, les vannes de gaz pilote (VGP1.2) s'ouvrent, la lampe d'allumage (LGP) s'allume, et le scanner ultraviolet (UV) détecte la flamme pilote.
Allumage du brûleur principal	65sec	La vanne de gaz (VG), vanne solénoïde trois voies pour la vanne de coupure de gaz à actionnement pneumatique, est alimentée. La vanne principale de coupure de gaz s'ouvre. La lampe de la vanne de gaz s'allume.
Extinction du brûleur pilote	80sec	Le contact M2 du minuteur de programme dans le circuit d'allumage s'ouvre pour arrêter le brûleur pilote. Seul le brûleur principal continue de fonctionner.
Mode AUTO du contrôleur maître	80sec	Le contact M6 du minuteur de programme change de connexion, permettant au contrôleur de pression de passer en mode AUTO.

Chapitre III : Architecture de commande et de supervision du système

Fonctionnement normal du brûleur	100sec	Le brûleur principal continue son fonctionnement normal avec l'aide du système de surveillance Ultra-Vision et des circuits de verrouillage assurant des conditions de fonctionnement normales.
----------------------------------	--------	---

Tableau III. 1: Séquence de démarrage

C. Phase 3 — Montée en pression et alimentation vapeur

Lorsque la pression du tambour atteint environ 1,5 kg/cm², la vanne d'évent du tambour est fermée. Lorsqu'elle atteint 5 kg/cm², la vanne manuelle MCV-6778 est légèrement ouverte pour réchauffer la ligne vapeur principale.

Quand la pression du tambour approche la pression de travail (environ 10,0 KGF/cm²), le régulateur de pression (PICA) est basculé en position « AUTO ».

III.2.3. Organigramme générale de fonctionnement

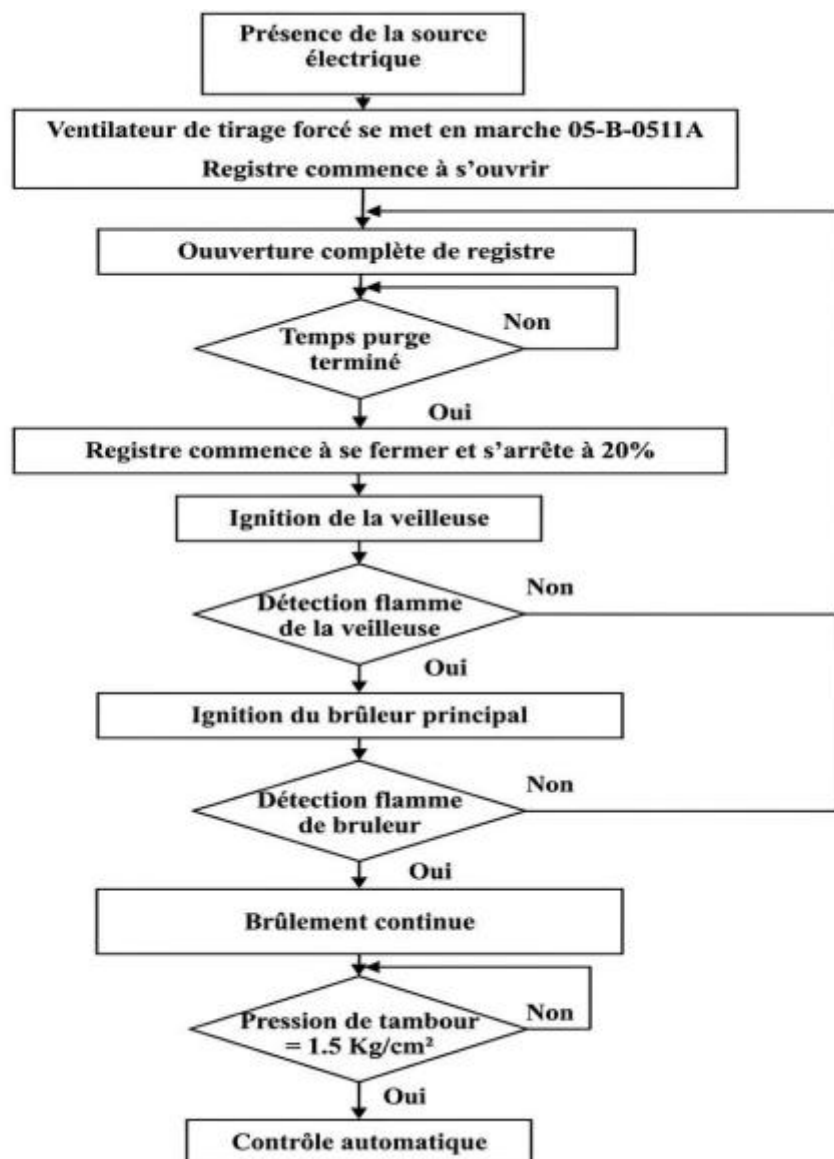


Figure III. 1: Organigramme générale de fonctionnement

III.3. Programmation de la commande

III.3.1. Création d'un projet et la configuration matérielle :

III.3.1.1. Création d'un nouveau projet :

Pour créer un nouveau projet, nous allons sur « créer un projet » dans la vue du portail, nous remplissons ensuite les champs vides comme : le nom du projet, l'auteur, le lieu d'enregistrement de ce projet, etc. Enfin, on clique sur « créer ». Voir chapitre I

III.3.1.2. La configuration matérielle :

La configuration matérielle est la deuxième étape après la création du projet, qui peut se faire soit sur la vue du portail en allant dans « mise en route : configurer un appareil », sinon sur la vue du projet en cliquant sur « appareils et réseaux » puis on ajoute les appareils que l'on souhaite.

La configuration matérielle s'agit d'une étape clé. Elle correspond à la conception du rack, les modules et les appareils de la périphérie centralisée.

L'utilisation du matériel SIMATIC S7-1500 avec une CPU 1511-1 PN, nous permet d'introduire la hiérarchie suivante :

La CPU 1511-1 PN est placée à l'emplacement n°1 du rack.

- **Modules d'entrées numériques (DI) :**
 - Emplacement 2 : DI 16×24VDC HF_1
 - Emplacement 3 : DI 16×24VDC HF_2
- **Modules de sorties numériques (DQ) :**
 - Emplacement 4 : DQ 16×24VDC/0.5A_1
 - Emplacement 5 : DQ 16×24VDC/0.5A_2
- **Modules d'entrées analogiques (AI) :**
 - Emplacement 6 : AI 8×U/I/IR/RTD BA_1
 - Emplacement 7 : AI 8×U/I/IR/RTD BA_2
- **Modules de sorties analogiques (AQ) :**
 - Emplacement 8 : AQ 8×U/I HS_1
 - Emplacement 9 : AQ 8×U/I HS_2

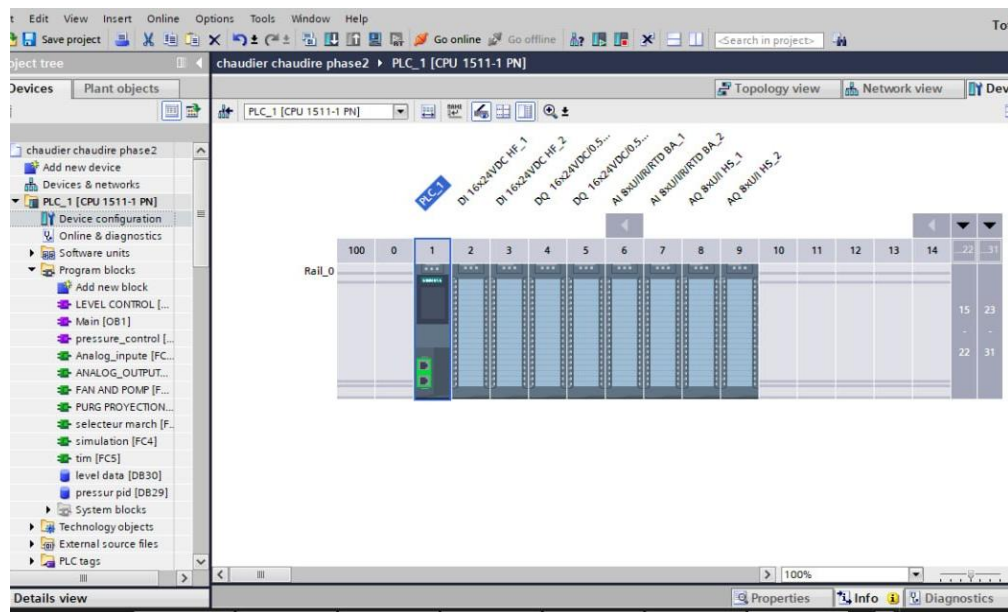


Figure III. 2: Configuration matériel

III.3.2. Table des variables (Entrées / sorties) Actionneurs Capteurs Relais

Dans tout programme, la liste des variables qui seront utilisées lors de la programmation doit être spécifiées. La table mnémorique ou encore table de variables API a été créée à cet effet. La figures ci-dessous illustrera une table des variables de notre projet le reste à l'Annexe.

	Name ▲	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Sup...	Comment	
174	R_AUTO	Bool	%M44.0	☐	☒	☒	☒		PID_PRESSURE_AUTO_MANU	
175	R_DECRISE	Bool	%M924.0	☐	☒	☒	☒		AIR_DUMPER_Decrease Relay	
176	R_INCRISE	Bool	%M924.1	☐	☒	☒	☒		AIR_DUMPER_Increase Relay	
177	R1	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒		Pressure High Relay	
178	R2	Bool	%M0.1	☐	☒	☒	☒		Purge complet relay	
179	R3	Bool	%M0.2	☐	☒	☒	☒		Power source OFF relay	
180	R4	Bool	%M0.3	☐	☒	☒	☒		Buzzer reset relay	
181	R5	Bool	%M0.4	☐	☒	☒	☒		Power source OFF relay(for purge failure)	
182	R6	Bool	%Q21.7	☐	☒	☒	☒		Purge Failure Relay	
183	RA	Bool	%M3.2	☐	☒	☒	☒		Flame failure Relay	
184	RAA	Bool	%Q19.5	☐	☒	☒	☒		Trip Relay to MCR	
185	Raise level	Bool	%M900.0	☐	☒	☒	☒		Hmi_Botton for raising_level	
186	Raise_pressure	Bool	%M900.4	☐	☒	☒	☒		Hmi_Botton for raising_Pressure	
187	RAN1	Bool	%M4.1	☐	☒	☒	☒		Pre_Alarm	
188	RAUT	Bool	%M4.4	☐	☒	☒	☒		Automatic Relay	
189	RDEC	Bool	%M4.6	☐	☒	☒	☒		Decrease Relay	
190	REL	Bool	%M3.7	☐	☒	☒	☒		Relay Extreme water Low level drum	
191	RESEULT TIME TO RESET...	DWord	%MD110	☐	☒	☒	☒		Needed time for M8 reset	
192	RESULT TIME TO RESET...	DWord	%MD106	☐	☒	☒	☒		Needed time for M7 reset	
193	RESULT TIME TO RESET...	DWord	%MD102	☐	☒	☒	☒		Needed time for M6 reset	
194	RESULTE TIME TO RESET...	DWord	%MD56	☐	☒	☒	☒		Needed time for M1 reset	
195	RESULTE TIME TO RESET...	DWord	%MD60	☐	☒	☒	☒		Needed time for M3 reset	
196	RESULTE TIME TO RESET...	DWord	%MD94	☐	☒	☒	☒			

Figure III. 3: Table des variables

III.3.3. Développement du programme de commande

La logique câblée d'origine repose sur un ensemble de relais, de contacteurs et de temporisateurs interconnectés par des liaisons physiques. Bien que fiable, cette technologie présente des limites importantes en termes de flexibilité, de maintenance et d'évolutivité.

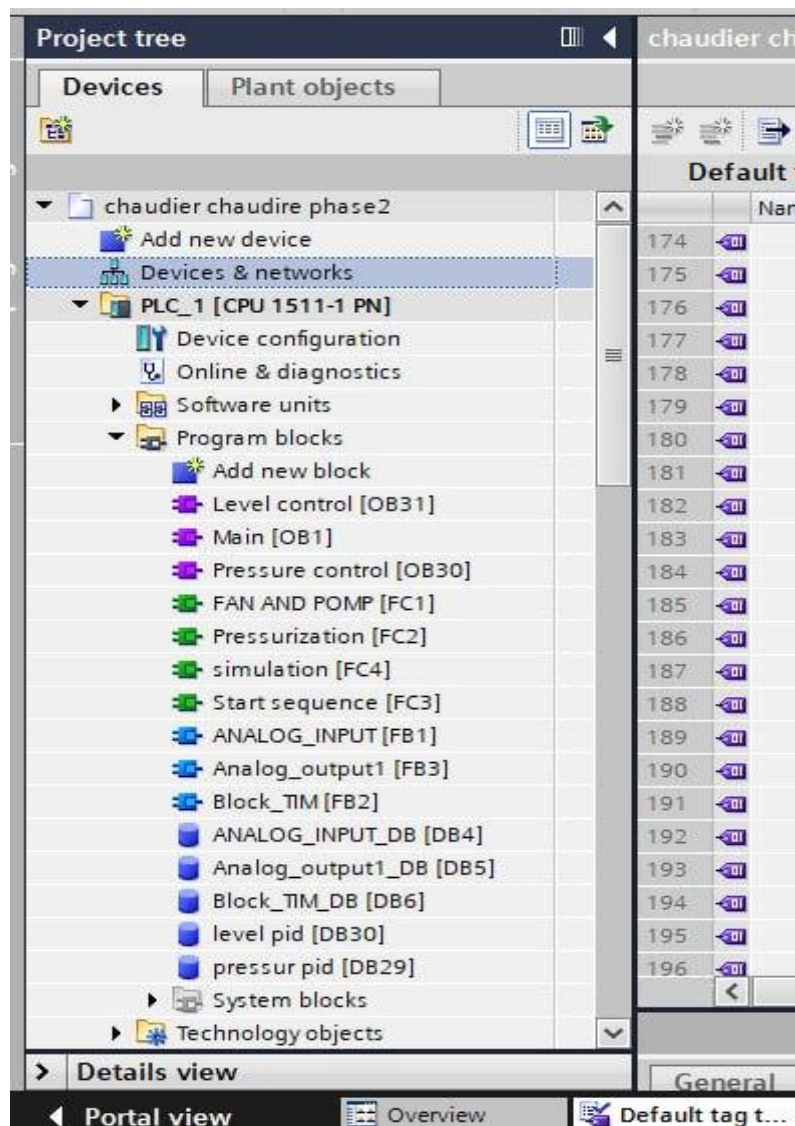


Figure III. 5: Présentation des blocks

III.3.5Présentation des blocs

Bloc	Nom	Rôle dans le système
OB1	Main	Bloc principal, appelle tous les FC
OB30	Pressure control	Control cyclique de la pression
OB31	Level control	Contrôle du niveau de la chaudière
FC1	FDF&POMP	Commande du ventilateur et de la pompe
FC2	Pressurization	Contrôle de purge et protection

FC3	Start Sequence	Gestion de la séquence d'allumage du brûleur
FC4	Simulation	Bloc de simulation virtuelle uniquement
FB2	Tim	Gestion des temporisations
FB1	Analog_inpute	Traitement des entrées analogiques
FB3	Analog_output	Gestion des sorties analogiques
DB29	Pressure PID	Données du régulateur PID pression
DB30	Level PID	Données du régulateur PID niveaux

Tableau III. 2: Présentation des blocs

III.3.6. Blocs du programme

III.3.6.1. OB1 « Programme Cyclique » :

Le système d'exploitation de la CPU exécute l'OB1 de manière cyclique, en le relançant dès que son traitement est terminé. Il fait appel aux blocs fonctionnels (FB) et aux fonctions (FC).

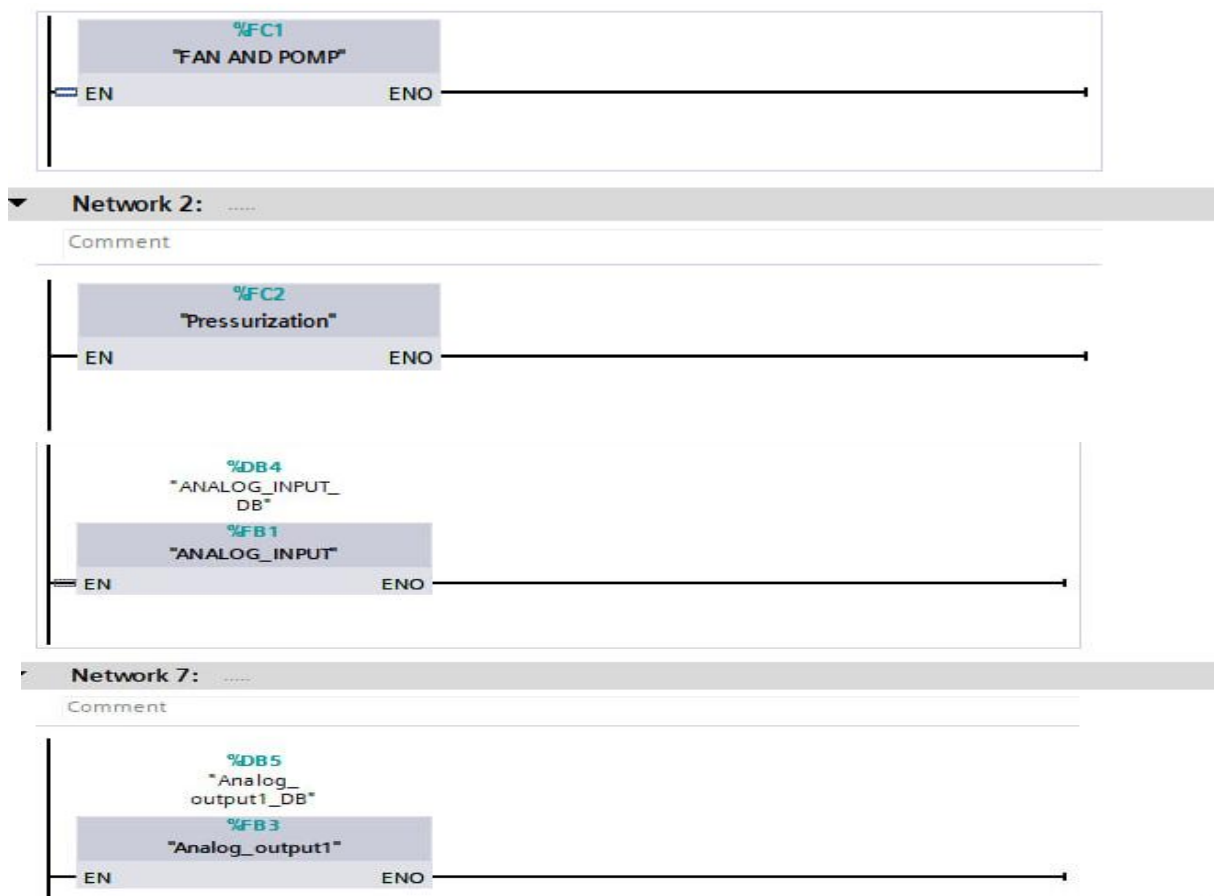


Figure III 6:[OB1] Appelle des blocks

III.3.6.2. OB30 & OB31 « Cyclic interrupt » :

L'OB d'interruption cyclique est utilisé lorsqu'il y a une exigence d'exécution Cyclique. L'OB cyclique est principalement utilisé avec le contrôleur PID et lorsqu'un calcul est nécessaire.

1. [OB30]

Le bloc d'organisation **OB30** est un bloc cyclique à interruption temporelle, exécuté périodiquement par le CPU. Il est dédié à la régulation de la pression de la chaudière via un régulateur PID [PICA] implémenté dans TIA Portal.

2. [OB31]

Le bloc d'organisation OB31 est un bloc cyclique dédié à la régulation du niveau de la chaudière à eau via le régulateur LICA implémenté sous forme de PID_Compact.

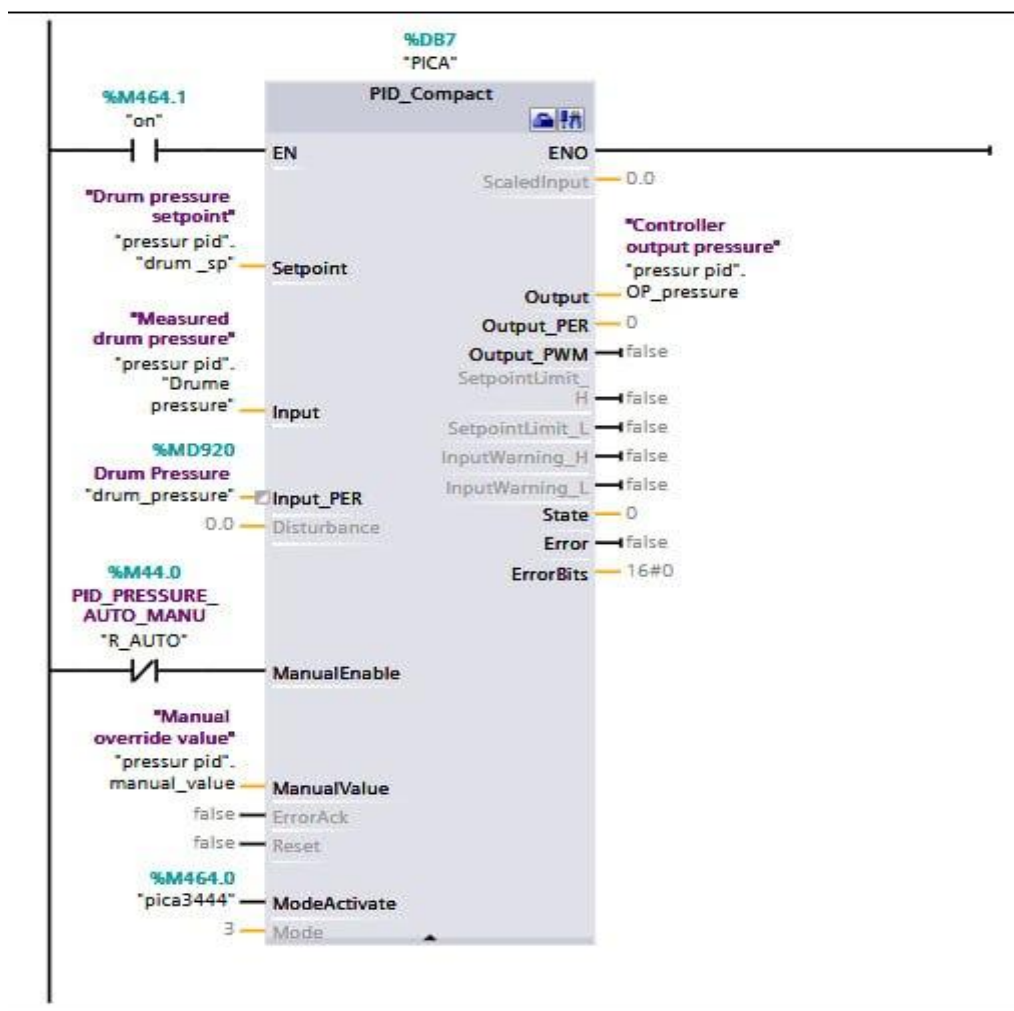


Figure III. 7: Régulateur de niveau [PICA]

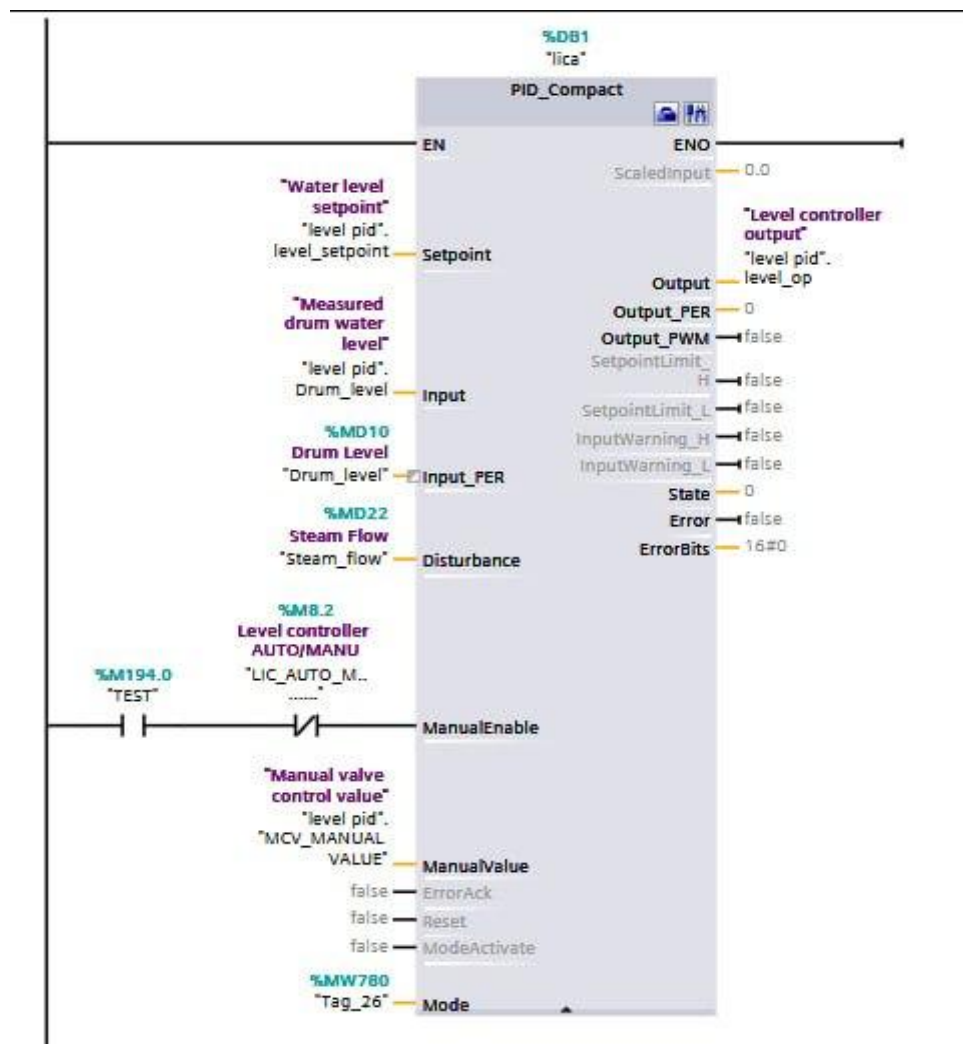


Figure III. 8 : Régulateur de Niveau [LICA]

III.3.6.3. Les fonctions FC :

Les fonctions sont des blocs de code sans mémoire. Après le traitement de la fonction, les données de la variable temporaire sont perdues. Les données des FC peuvent être stockées dans des blocs de données globales

1. [FC2] Pressurization :

Le bloc FC2 assure la gestion de la pressurisation du panneau de contrôle de la chaudière à eau. Il contrôle les conditions d'enclenchement et les verrouillages de sécurité associés à cette fonction.

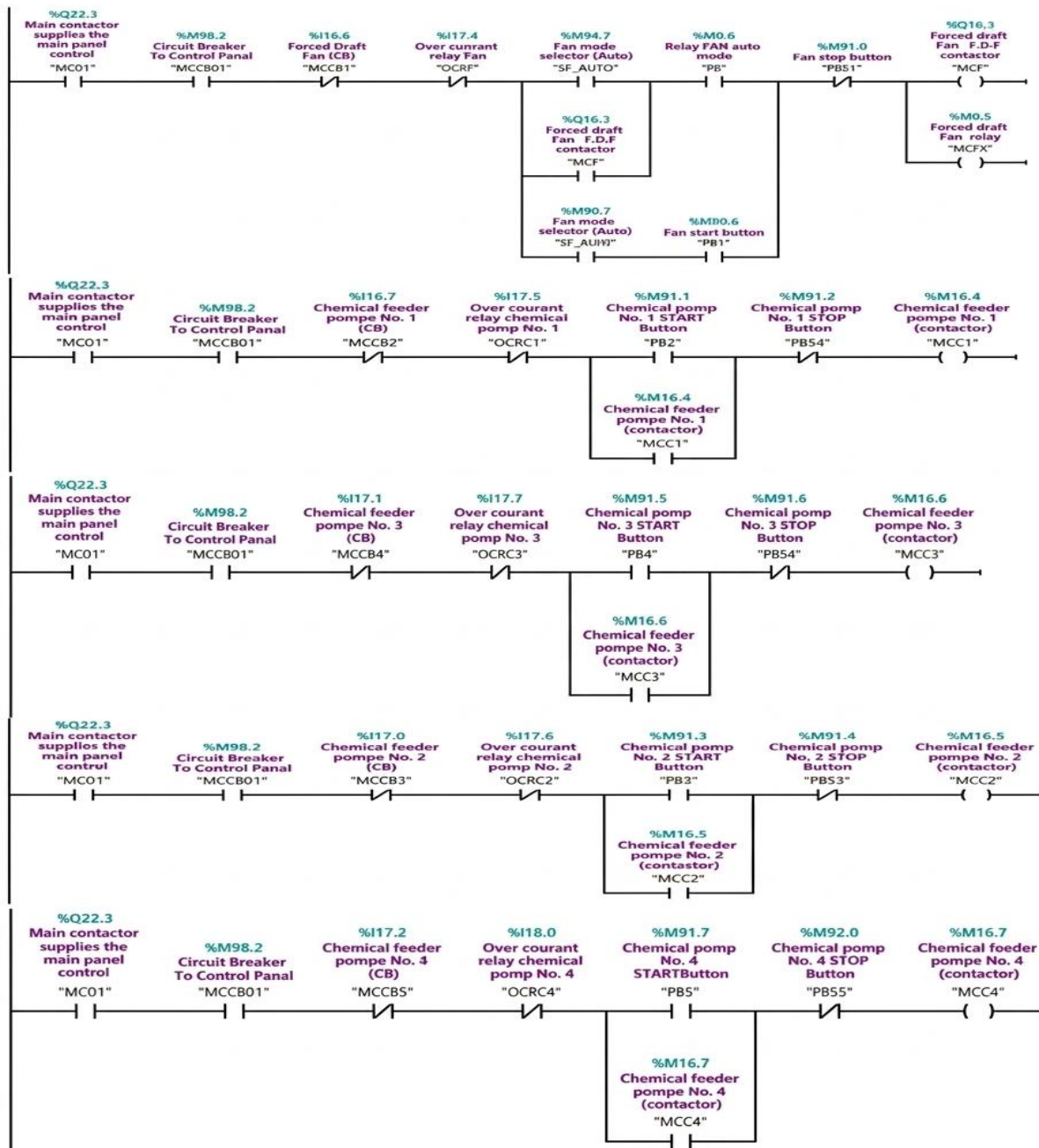


Figure III. 10: Réseaux du bloc FC1 : Commande des contacteurs du ventilateur, de la pompe et de l'agitateur

3. [FC3] Start Sequence

Le bloc FC3 assure la gestion de la séquence de démarrage du pilote et du brûleur principal de la chaudière. Il regroupe les conditions d'activation, les temporisations et les verrouillages garantissant un allumage sûr et contrôlé

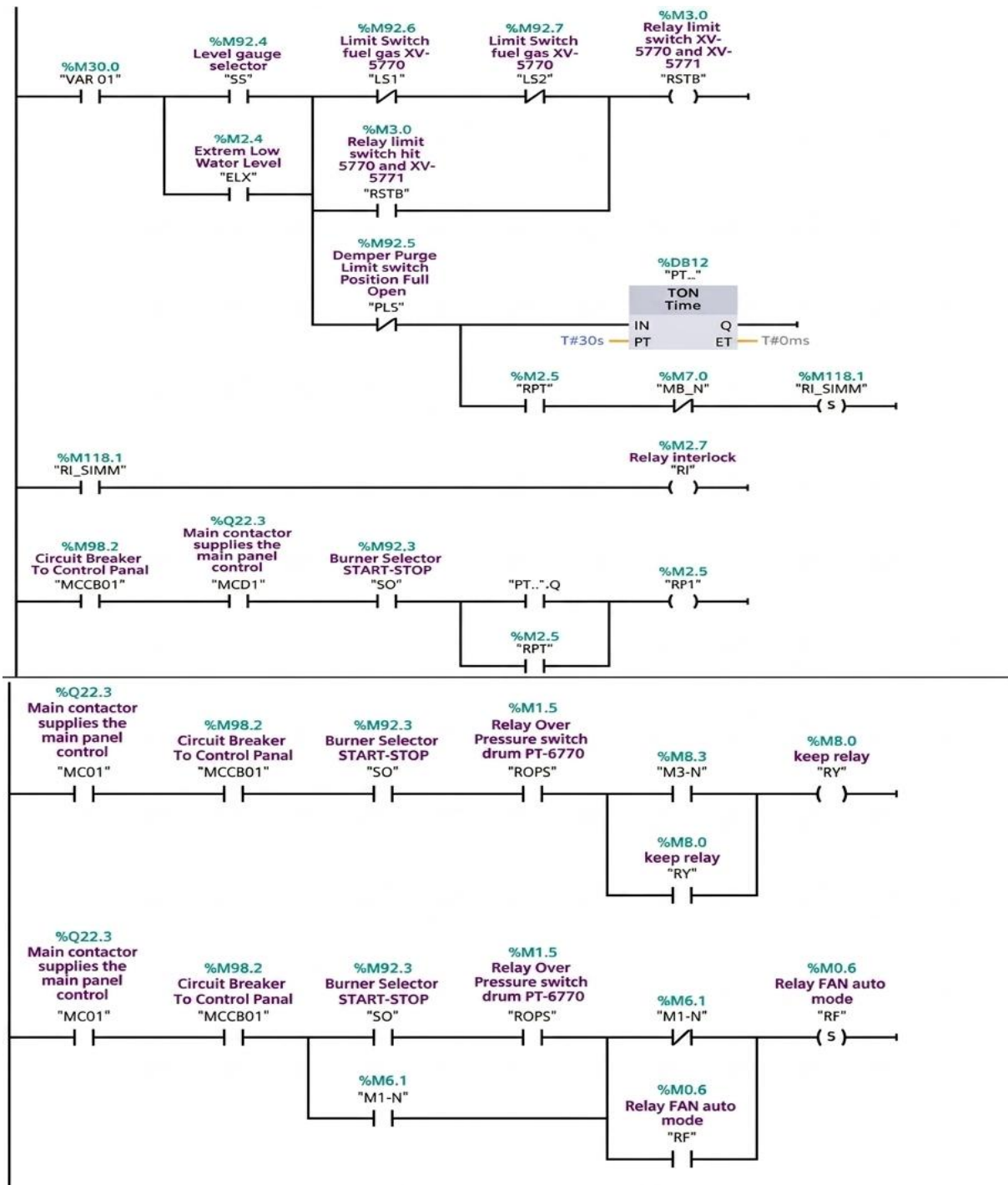


Figure III. 11: [FC3] réseaux 2, 3 interlocks

Le pilote de brûleur constitue la première étape de la séquence d'allumage, il génère une flamme pilote permettant la mise à feu contrôlée du brûleur principal.

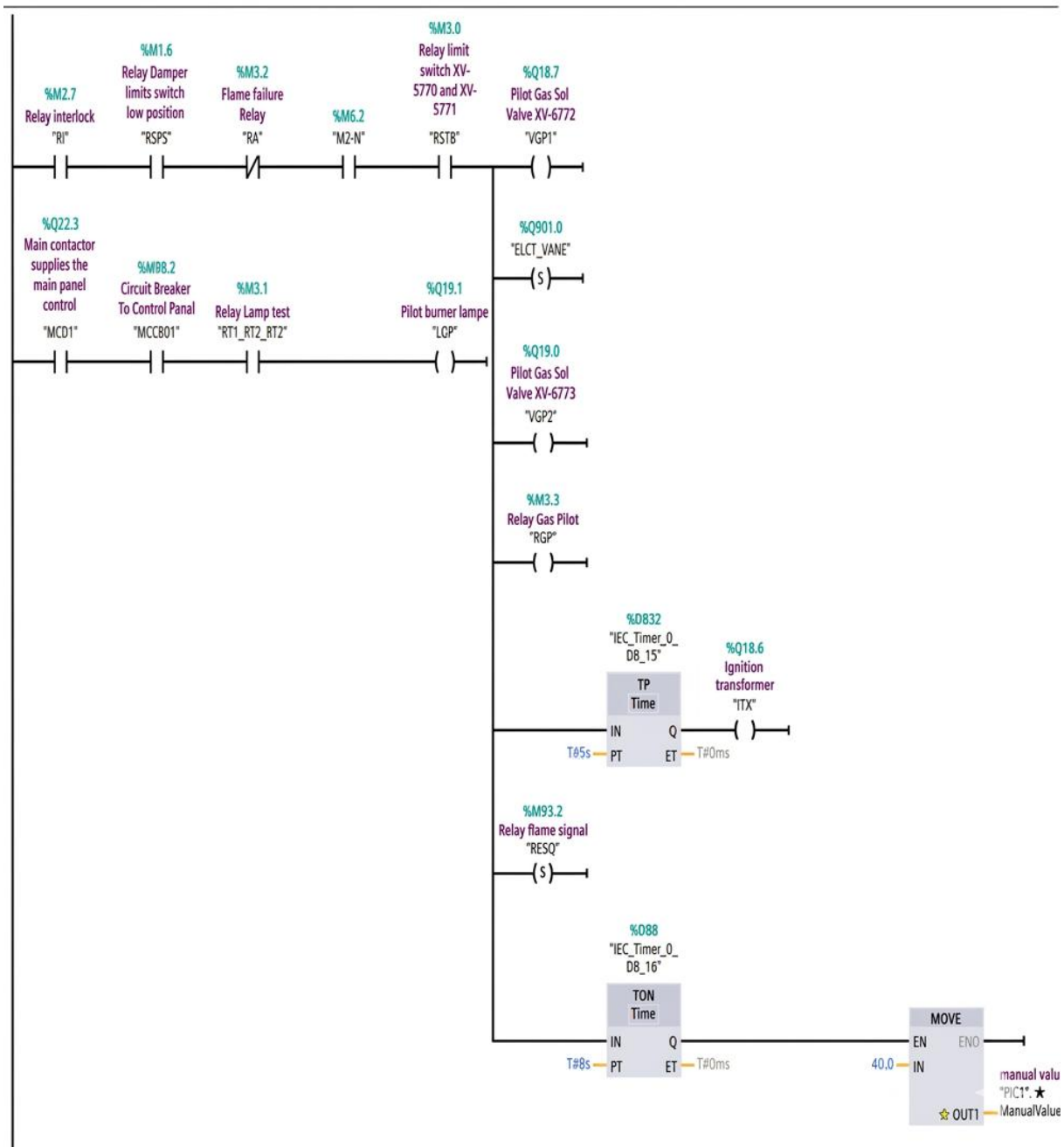


Figure III. 12: [FC3] réseaux 5, Allumage de pilot [VGP1], [VGP2]

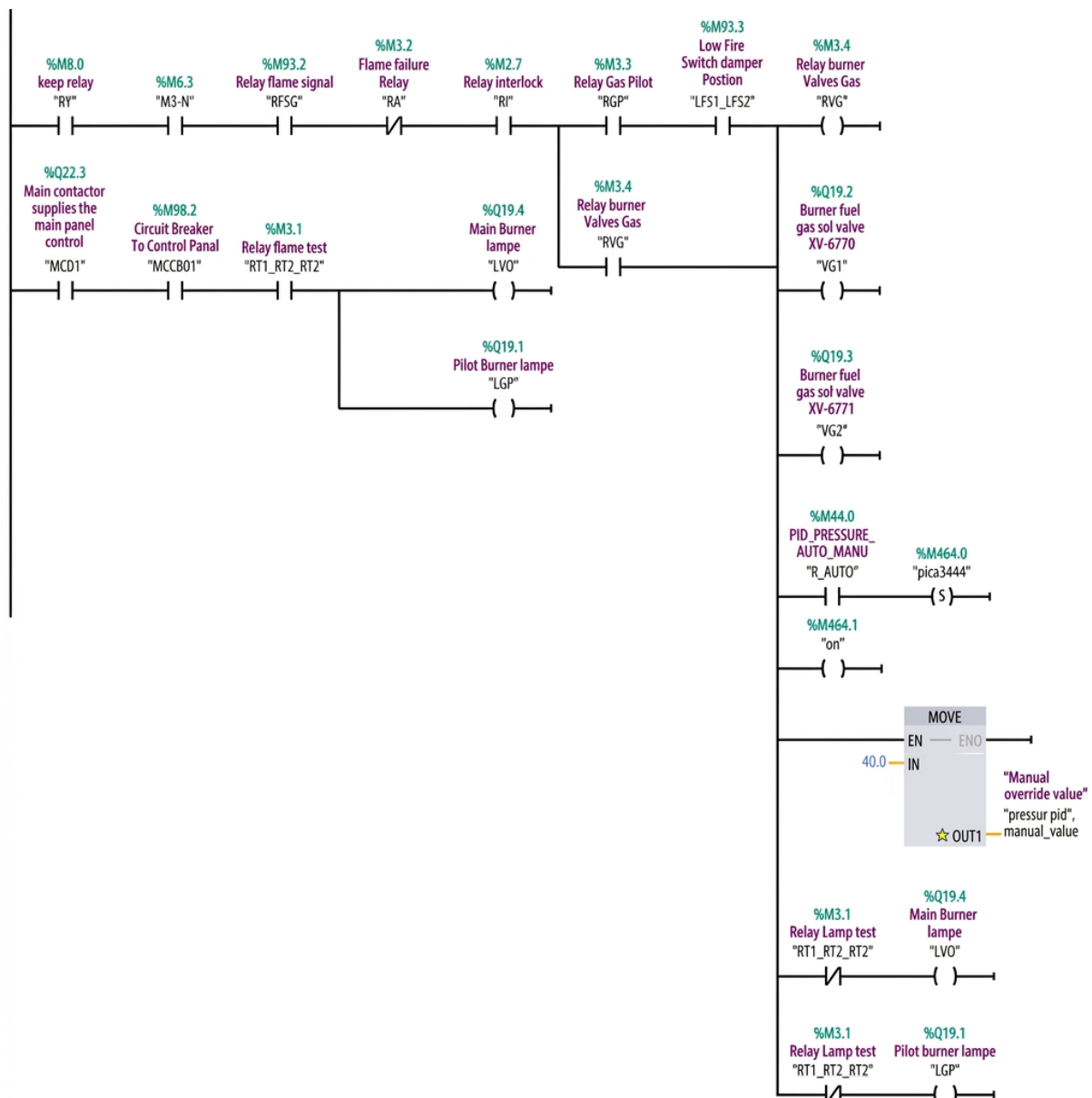


Figure III. 13: [FC3] réseaux 6, Allumage de Bruleur [VG1], [VG2]

III.3.6.4. Bloc fonctionnel FB :

Les blocs fonctionnels, sont des blocs de code qui sauvegardent leurs valeurs dans des blocs de données d'instances afin de pouvoir y accéder même après le traitement du bloc.

III.3.6.3.1. [FB1] Analog_input : Mise en échelle des capteurs

Le bloc FB1 est dédié au traitement des signaux analogiques issus des différents capteurs de la chaudière. Il assure la normalisation et la mise en échelle de chaque signal brut en valeur physique exploitable par le programme de régulation.

➤ Principe de fonctionnement

Chaque réseau du FB1 applique deux instructions successives : NORM_X qui normalise le signal brut entre 0 et 27648, suivi de SCALE_X qui convertit cette valeur normalisée en grandeur physique réelle selon la plage du capteur.

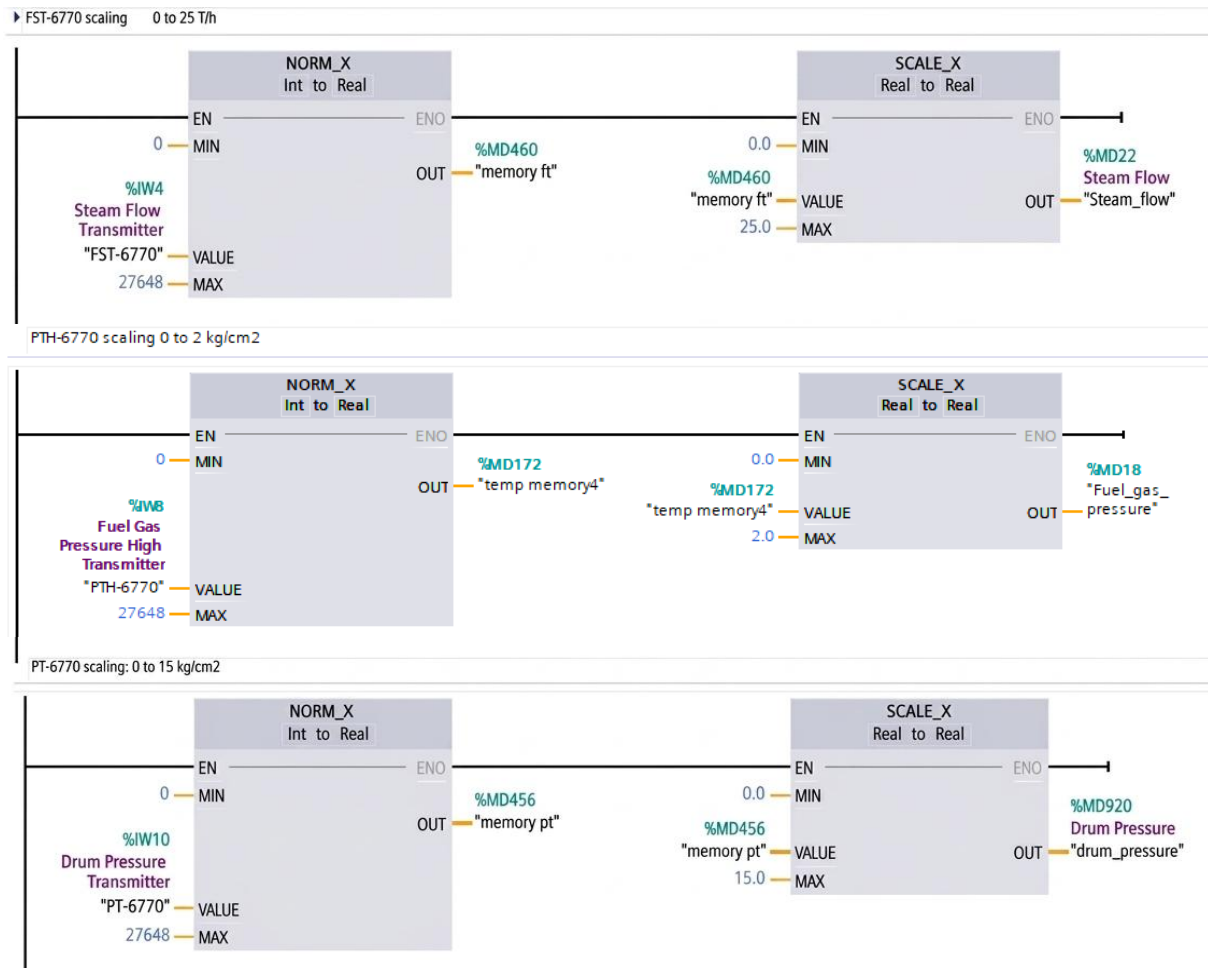


Figure III. 14: Mise en échelle des capteurs analogiques du bloc FB1

Réseau	Capteur	Tag	Plage	Variable sortie
Network 1	LT-6770 Drum Level Transmettre	%IW2	0 à 100 %	%MD10 Drum_level
Network 2	PT-6770 Drum Pressure transmettre	%IW0	0 à 15 KGF/cm ²	%MD920 drum_pressure
Network 3	PTH-6770 Fuel Gas Pressure Transmitter	%IW8	0 à 2 KGF/cm2	%MD18 Fuel_gas_pressure

Chapitre III : Architecture de commande et de supervision du système

Network 4	FST-6770 Steam Flow Transmitter	%IW4	0 à 25 T/h	%MD22 Steam_flow
-----------	---------------------------------	------	------------	------------------

Tableau III. 3: Les capteurs analogiques du bloc FB1

III.3.6.3.2. [FB3] Analog_output : Mise en échelle des actionneurs

Le bloc FB3 est dédié au traitement des signaux de sortie analogiques vers les actionneurs de la chaudière. Il assure la conversion des valeurs de commande issues des régulateurs PID en signaux numériques compatibles avec les modules de sortie analogique.

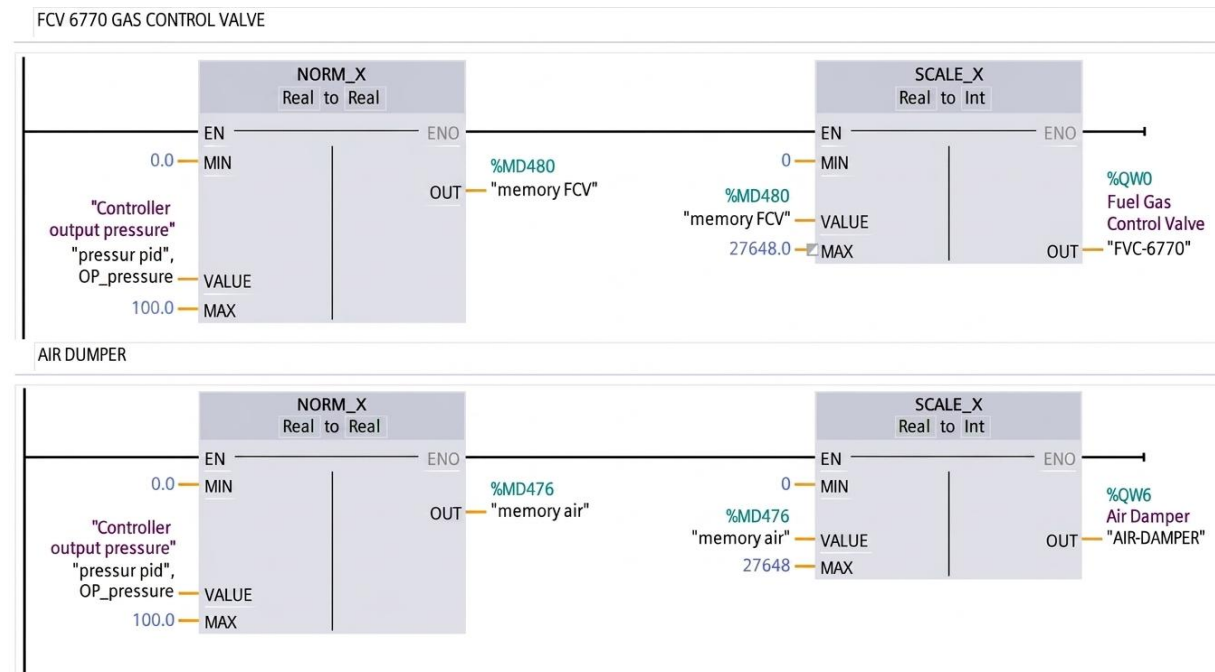
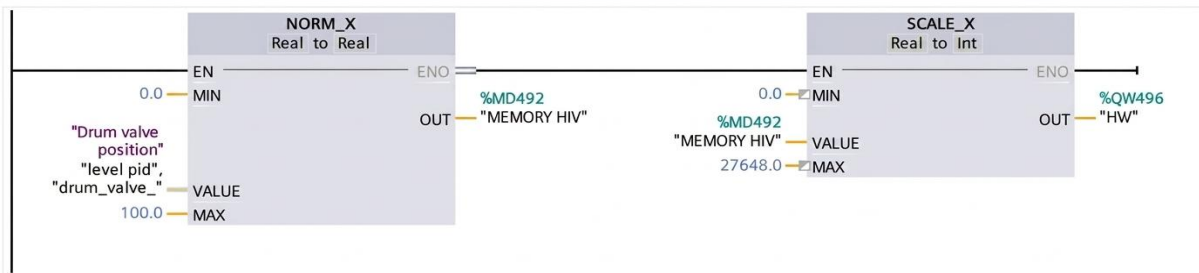


Figure III. 15: Mise en échelle de la vanne FCV et [AIR Dumper]

Réseau	Actionneur	Source	Variable sortie
Network 1	FVC-6770 Fuel Gas Control Valve	pressur_pid.OP_pressure	%QW0
Network 2	AIR-DAMPER Air Damper	pressur_pid.OP_pressure	%QW6
Network 3	MCV-6770 Steam Supply Control Valve	level_pid.drum_valve_	%QW496 HIV
Network 4	LCV Water Level Control Valve	level_pid.level_op	%QW498 LCV

Tableau III. 4: Les actionneurs Utilisés

► MCV 6770 Steam Supply Control Valve



► LCV_WATER LEVEL CONTROL VALVE

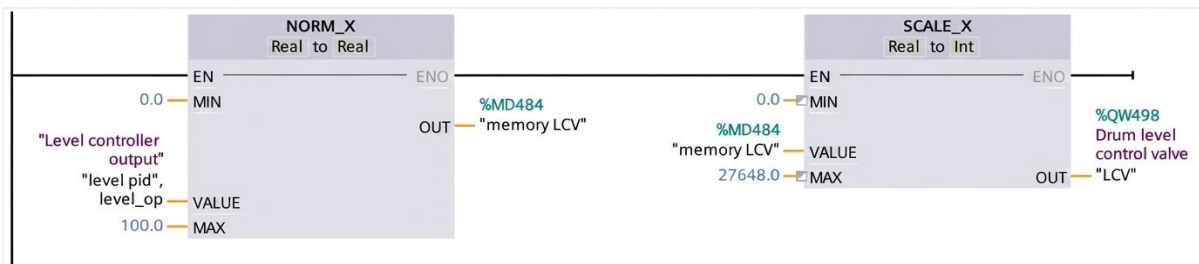


Figure III. 16: Mise en échelle de la vanne LCV ET MCV



Figure III. 17: Minuteur mécanique à cames

III.3.6.3.3. [FB2] : Gestion des temporisations

A l'origine, la séquence de fonctionnement de la chaudière était assurée par un minuteur mécanique à cames. Ce dispositif actionne successivement les contacts M1 à M8 selon un cycle rotatif prédéfini, permettant le séquençage des différentes phases de démarrage du brûleur.

► Le problème du minuteur mécanique

Le minuteur mécanique à cames présente plusieurs inconvénients : usure mécanique, difficulté de réglage, et nécessité d'une remise à zéro manuelle en cas de perte d'alimentation.

Chapitre III : Architecture de commande et de supervision du système

De plus, certains contacts devenaient inutiles dans le cadre de la conversion vers l'automate programmable.

➤ La solution : Minuteur rétentive (Retentive Timer)

Dans le programme TIA Portal, le minuteur mécanique à cames a été remplacé par un minuteur rétentive. Ce type de temporisateur conserve sa valeur même en cas de coupure d'alimentation, garantissant ainsi la continuité du cycle de séquençement sans remise à zéro intempestive.

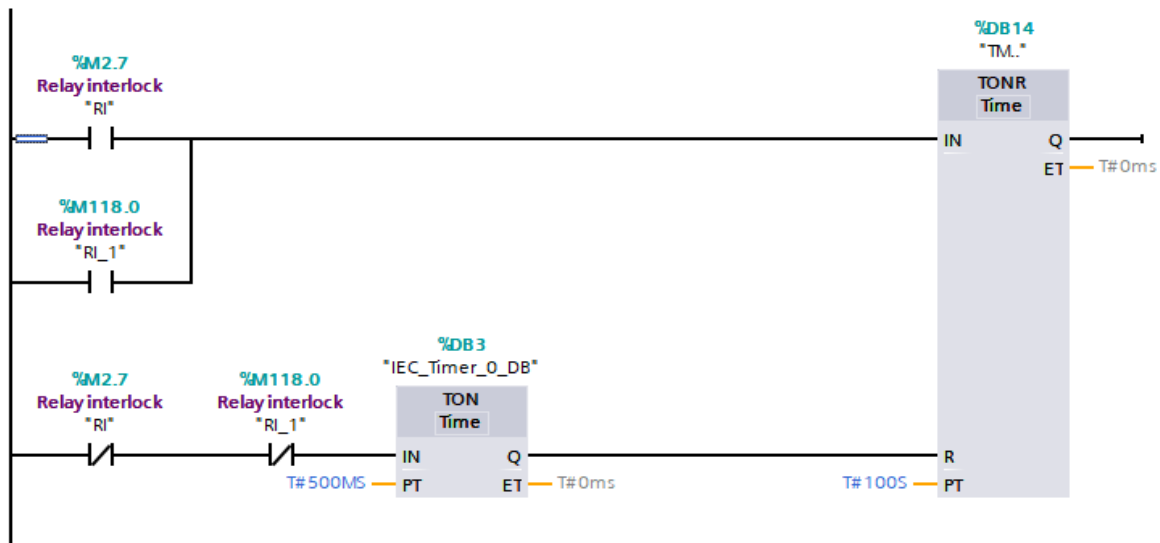


Figure III. 18: [FB1] RESEAUX 1Minuteur rétentive

À partir du chronogramme de fonctionnement, nous pouvons vérifier l'état des contacts M1 à M8 en fonction du temps. Ce diagramme permet de valider la séquence de commande du brûleur, depuis le pré ventilation du foyer jusqu'à l'allumage de la veilleuse, puis du brûleur principal. Il permet également de contrôler les temps d'activation et de désactivation des différents contacts ainsi que le respect des temporisations de sécurité prévues par le cahier des charges.

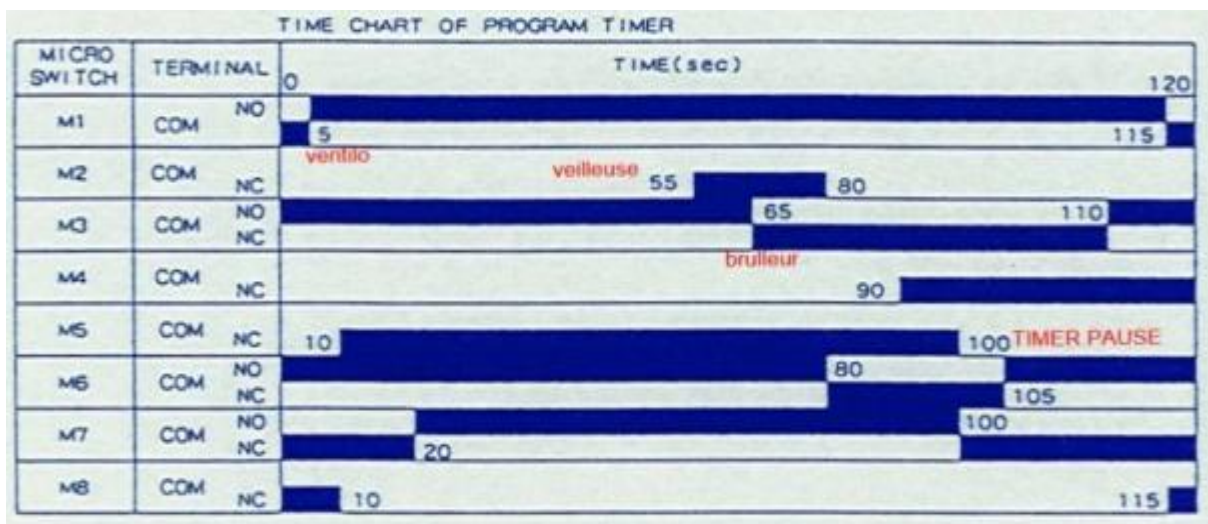


Figure III. 19: Diagramme temporel des contacts de commande M1 à M8

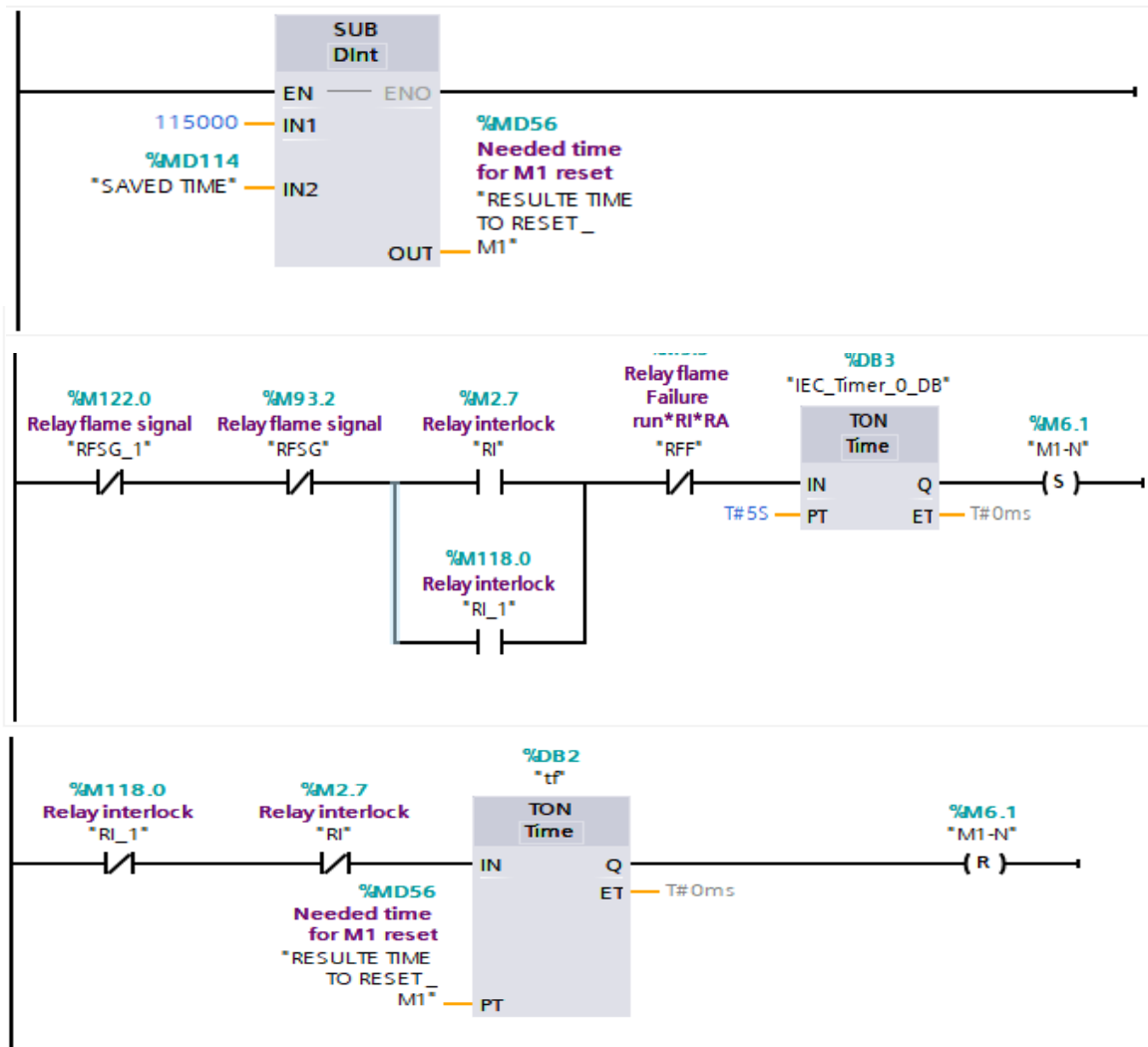


Figure III. 20: [FB1] Activation et désactivation des contact M1

III.3.6.5. Bloc de données DB :

Les blocs de données globales stockent des données qui peuvent être utilisées par tous les autres blocs. La taille maximale des DB varie en fonction de la CPU. La structure des DB globales peut être personnalisée en fonction de vos besoins.

II.3.6.5.1 : Données pid niveaux

Ce bloc de données regroupe toutes les variables pour la régulation du niveau d'eau du ballon. Il utilise la consigne level_setpoint et la mesure Drum_level pour calculer la sortie level_op, qui commande la vanne Output_to_LCV_6770. Il inclut aussi un mode manuel (MCV_MANUAL_VALUE), une simulation (sim_level), et des variables de suivi comme la position vanne (drum_valve) et le débit (valve_flow%).

III.3.6.5.2. [DB29] données PID pression

Ce bloc centralise les données pour la régulation de pression du ballon. À partir de la mesure Drum_pressure et de la consigne drum_sp, il calcule la sortie OP_pressure qui pilote l'air (AIR-DAMPER) et le gaz (FCV-6679). Il gère également le rapport air/gaz (ration), un mode manuel (manual_value), une simulation (sim_pressure), et surveille le débit vapeur (stem_flow).

	Name	Data type	Start ...	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setp...	Sup...	Comment
1	Static									
2	level_setpoint	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☒		"Water level setpoint"
3	Drum_level	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Measured drum water level"
4	level_op	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Level controller output"
5	sim-level	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Simulated level for testing"
6	Output_to_LCV_6670	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Output signal to level control valve"
7	MCV_MANUAL VALUE	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Manual valve control value"
8	drum_valve_	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Drum valve position"
9	valve_flow%	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Valve flow percentage"
	Name	Data t...	Start..	Retain	Accessi...	Writa...	Visible in ...	Set...	Supervis...	Comment
1	Static									
2	OP_pressure	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☒		"Controller output pressure"
3	drum_sp	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☒		"Drum pressure setpoint"
4	Drum pressure	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☒		"Measured drum pressure"
5	sim_pressure	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Simulated pressure for testing"
6	AIR-DAMPER-	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Air damper control signal"
7	FCV-6770	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Output signal to gas control valve"
8	ration	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Fuel air ratio value" for simulation
9	manual_value	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Manual override value"
10	stem_flow	Real	0.0	☒	☒	☒	☒	☐		"Steam flow measurement"

Figure III. 21: les blocs [DB30], [DB29]

III.3.7. Gestion des sécurités et des défauts

III.3.7.1. Sécurités intégrées dans le programme de commande

Afin de garantir un fonctionnement sûr et fiable de la chaudière, plusieurs sécurités ont été intégrées dans le programme automate. Ces sécurités assurent la surveillance continue des paramètres critiques et provoquent l'arrêt immédiat du brûleur en cas d'anomalie.

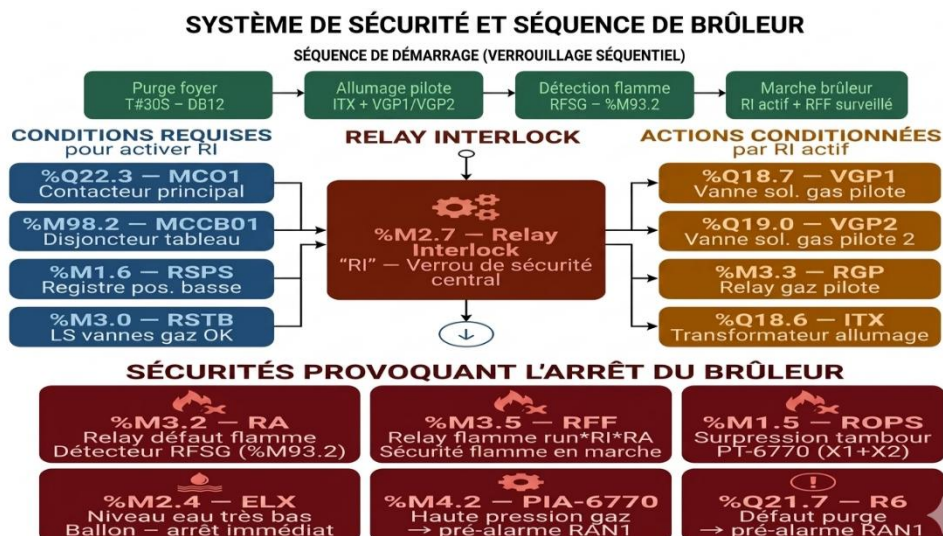


Figure III. 22: Gestion des sécurités

III.3.7.2. Le Relay Interlock RI (%M2.7) — Verrou central

C'est la sécurité maîtresse du programme. RI n'est actif que si toutes les conditions suivantes sont simultanément vraies

- MCO1 : Contacteur principal alimenté
- MCCB01 : Disjoncteur tableau fermé
- RSPS : Registre en position basse confirmée
- RSTB : Vannes gaz XV-6773/6772 position confirmée

Si RI est faux, aucune des sorties d'allumage n'est possible : les vannes VGP1 (%Q18.7), VGP2 (%Q19.0) et le transformateur d'allumage ITX (%Q18.6) restent fermées.

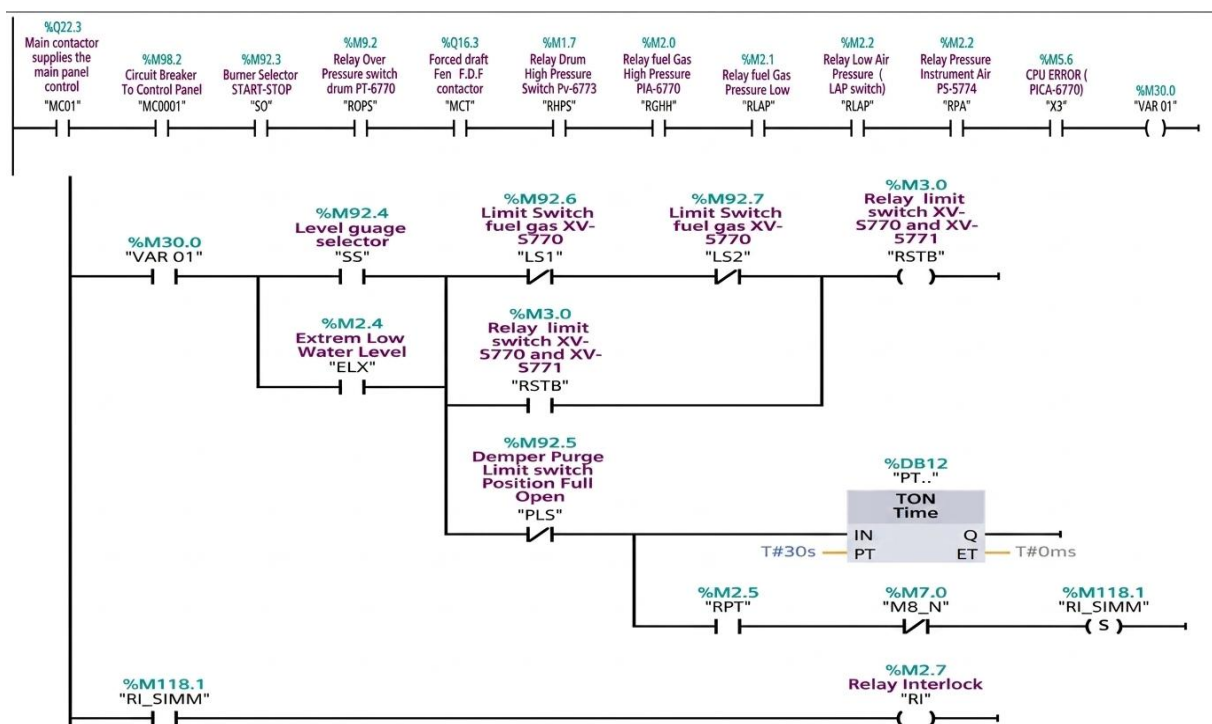


Figure III. 23: Le Relay Interlock RI

III.3.7.3. Sécurités liées à la flamme

- Relay RA — Défaut flamme (%M3.2) Le signal du détecteur de flamme RFSG (%M93.2) est surveillé en permanence. Si RFSG n'est pas détecté alors que le brûleur tourne, RA passe à 1, coupant la séquence.
- Relay RFF — Flamme run(%M3.5) RFF est la combinaison logique : flamme en marche ET RI actif ET RA non déclenché. C'est le signal de "tout va bien" pendant la marche. Sa disparition provoque l'arrêt immédiat.

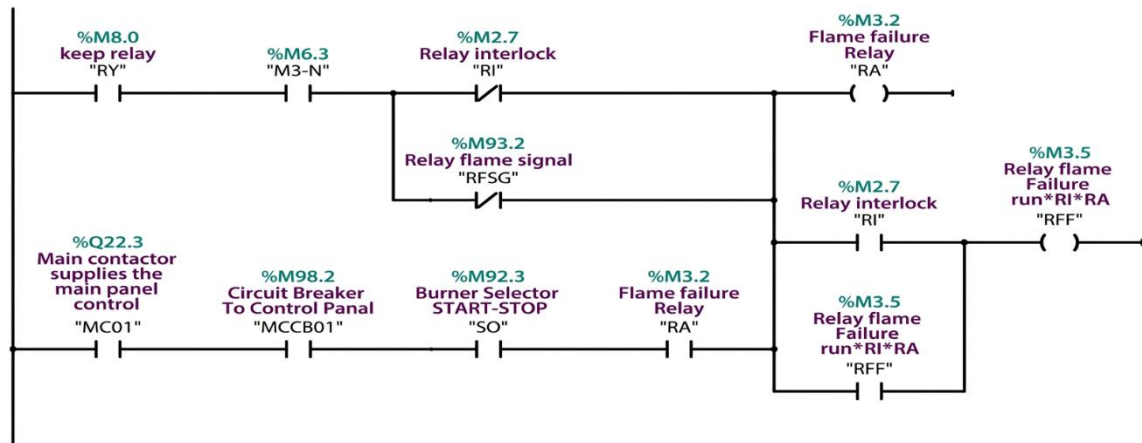


Figure III. 24: Sécurité liée à la flamme

III.3.7.4. Sécurité liée à la pression vapeur

ROPS (%M1.5) — Relay Over Pressure Switch Surveillé par deux pressostats en parallèle :

- %M5.5 "X2" — pression normale → contact fermé (autorisation)
- %M5.4 "X1" — surpression → contact ouvert (coupure)

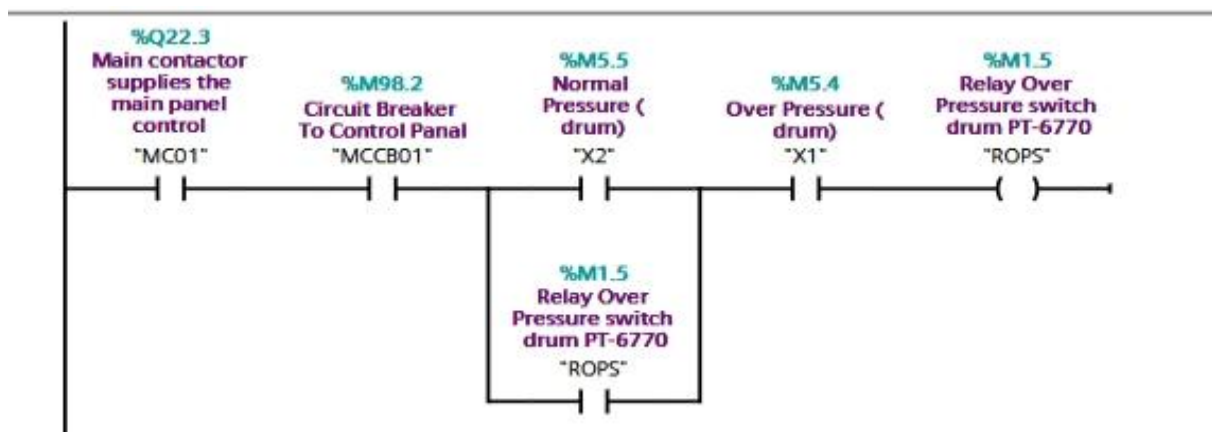


Figure III. 25: Sécurité liée à la pression vapeur

Un contact de mémorisation sur ROPS lui-même assure le maintien de la sécurité jusqu'à réarmement manuel.

III.3.7.5. Sécurité liée à la purge et au niveau eau

- Séquence de purge obligatoire. Avant tout allumage, une temporisation de 30 secondes (T#30S) est imposée. Elle ne démarre que si les vannes gaz sont en position confirmée et que le niveau d'eau n'est pas en alarme extrême basse (%M2.4 — ELX).
- ELX (%M2.4) — Niveau eau très bas Ce contact, s'il passe à 1, bloque le démarrage de la séquence de purge et arrête le brûleur si celui-ci tourne

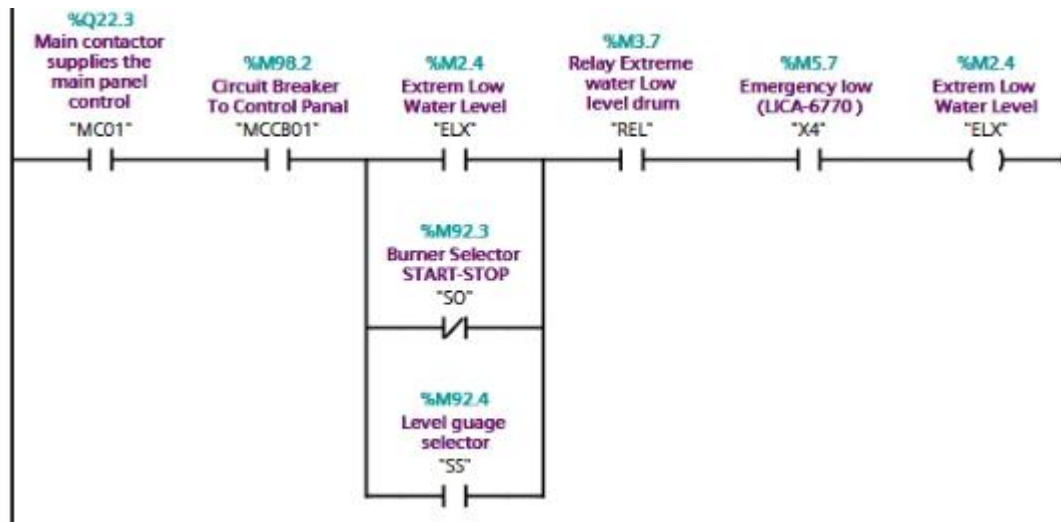


Figure III. 26: Sécurités liées au niveau eau

III.3.7.6. Sécurités gaz — Pré-alarme RAN1

Trois défauts déclenchent la pré-alarme avant l'arrêt complet :

- Haute pression gaz PTH-6770 (%M4.2 — contact NC)
- Basse pression gaz PTL-6771 (%M4.3)
- Défaut purge R6 (%Q21.7)

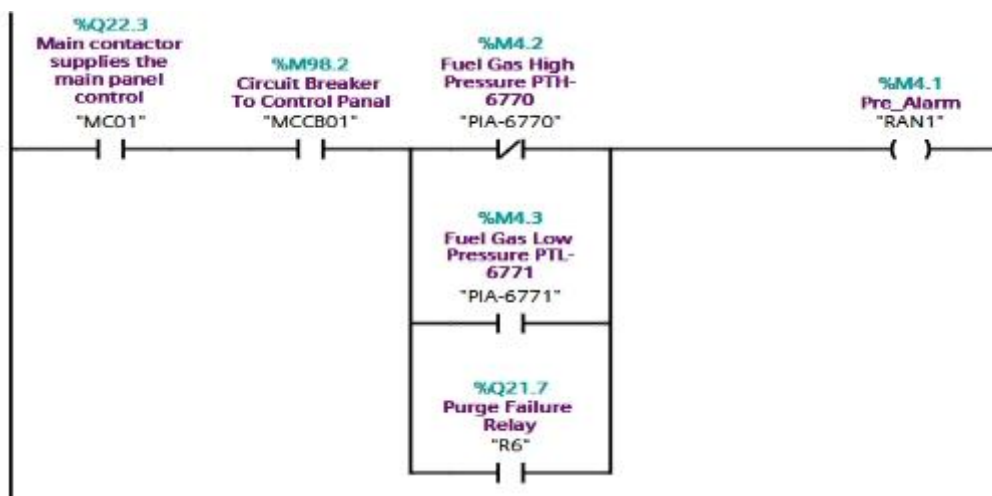


Figure III. 27: Sécurités gaz, Pré-alarme RAN1

III.3.8. Simulation sous tia portal

La simulation de processus est un outil utilisé pour la conception, le développement et l'optimisation des processus industriels.

Plc Sim est un logiciel de simulation qui permet d'exécuter et de tester un programme automates (PLC) directement sur un ordinateur, sans avoir besoin d'un équipement S7 réel (CPU ou modules de signal). Entièrement intégré à STEP 7, il offre une interface simple pour visualiser et contrôler les paramètres (activer/désactiver des entrées). Il est également

Chapitre III : Architecture de commande et de supervision du système

compatible avec les outils STEP 7 comme la table des variables (VAT) pour observer et forcer des variables pendant l'exécution du programme sur l'automate de simulation.

Pour simuler, il faut cliquer sur L'icône "Simulation" (logo PLCSIM) dans la barre d'outils. Ensuite, une fois la simulation lancée :

- On charge le programme dans l'automate virtuel comme sur un vrai PLC.
- On peut ouvrir la table des variables (VAT) et forcer/modifier les entrées pour tester la régulation.

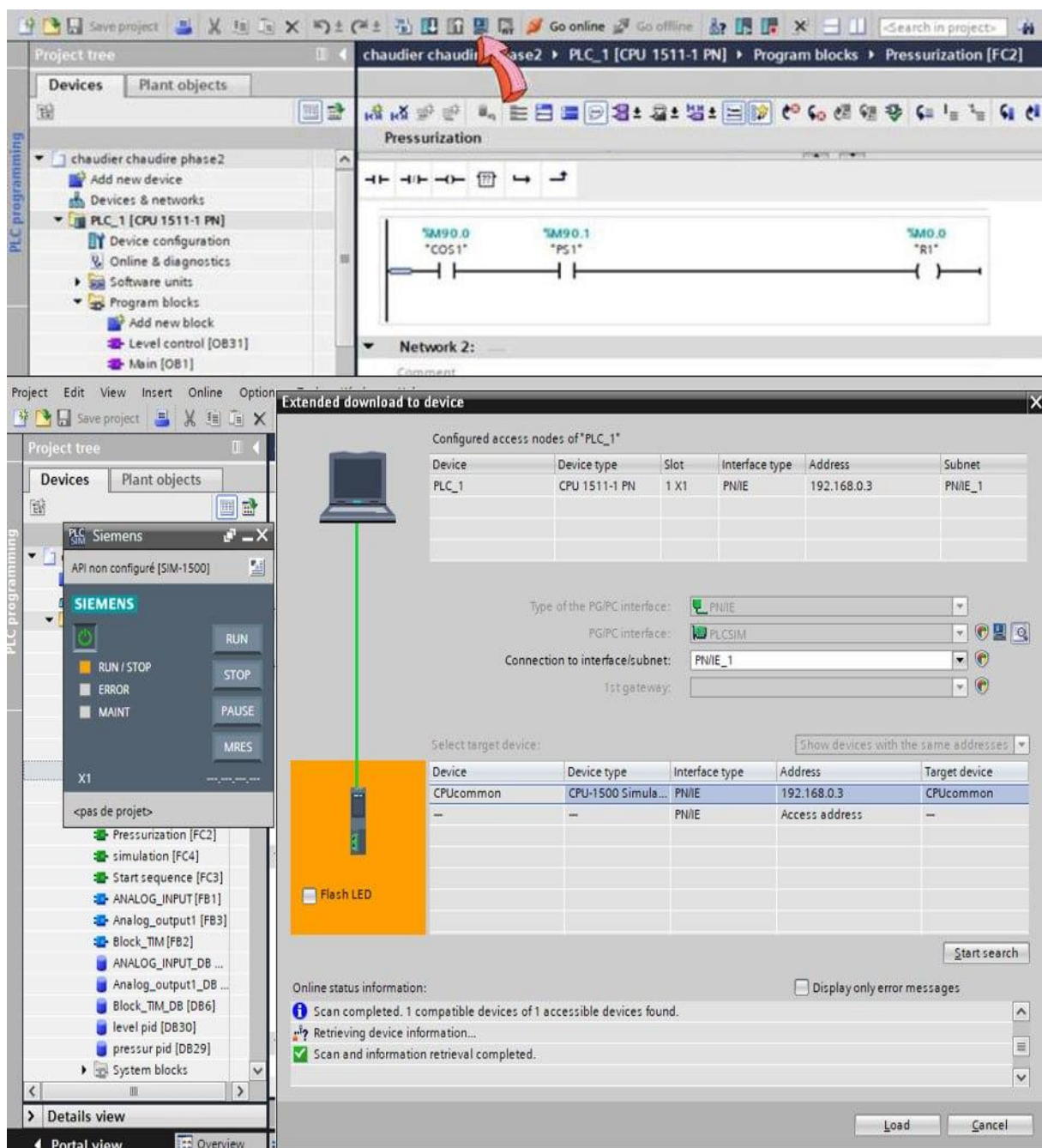


Figure III. 28: lancement de simulation va Plc Sim

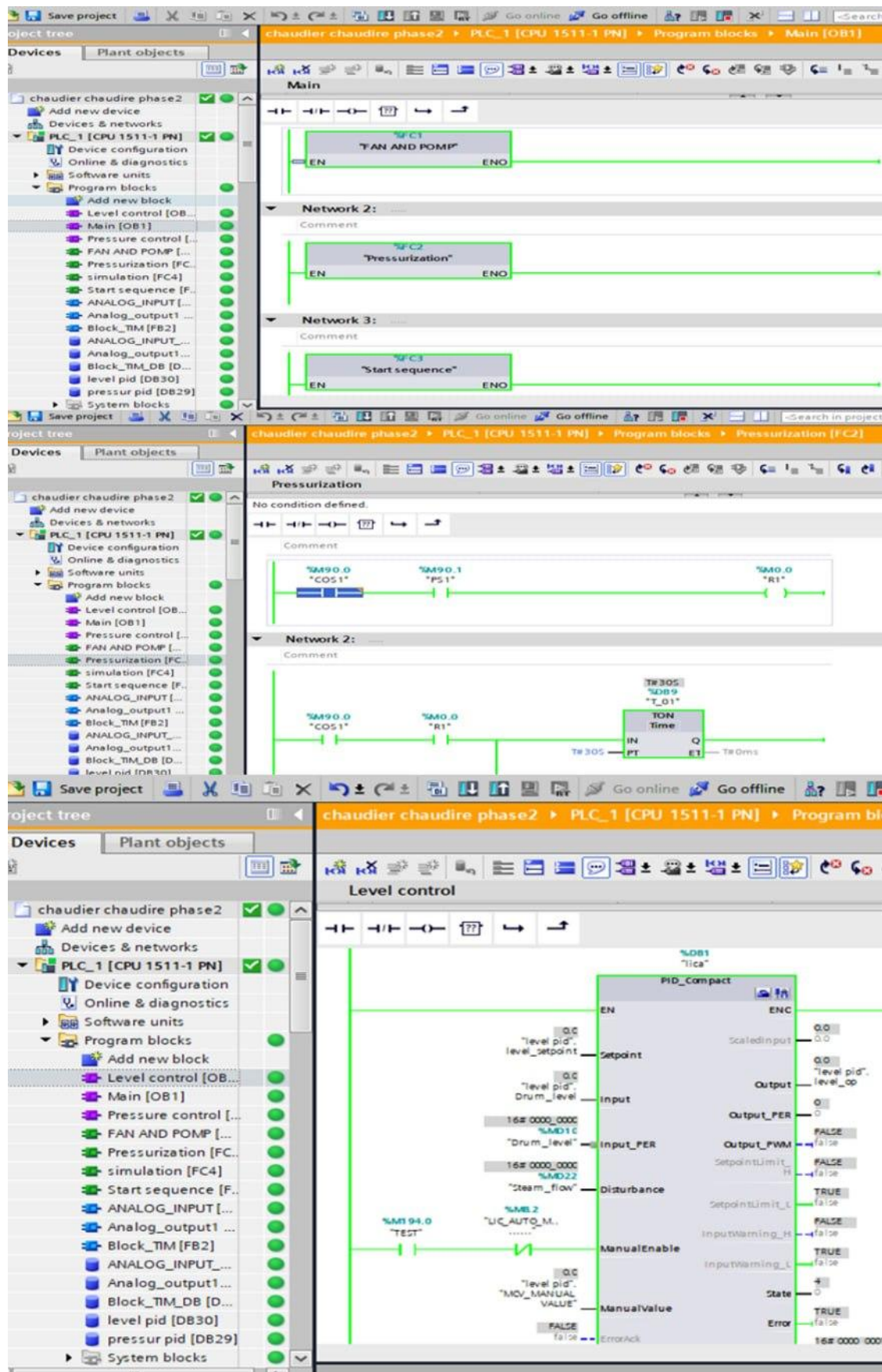


Figure III. 29: Visualisation des blocs

III.4. Stratégie de contrôle de la chaudière

III.4.1. Régulation de la Pression de ballon supérieur (Boucle PICA)

La première boucle de régulation a pour objectif de maintenir la pression du ballon à une valeur de consigne prédéfinie, désignée par le tag `drum_sp`. La variable de procédé est la pression mesurée dans le ballon (Drume pressure), acquise via l'entrée analogique. Le régulateur `PID_Compact` (PICA), calcule en temps réel le signal de commande `OP_pressure`, qui est transmis directement à la vanne de gaz `FCV-6679`. Ce signal pilote également le registre d'air (`AIR-DAMPER`) à travers un bloc multiplicateur (`MUL`) dont le gain, appelé `Excess Air`, est adaptatif et dépend de la plage de pression. Cette logique comparative permet d'optimiser le rapport air/gaz sur toute la plage de fonctionnement, améliorant ainsi le rendement de combustion. La commutation entre le mode automatique et le mode manuel est assurée par le contact `"R_AUTO"`, câblé en contact normalement fermé sur l'entrée `ManualEnable` du régulateur.

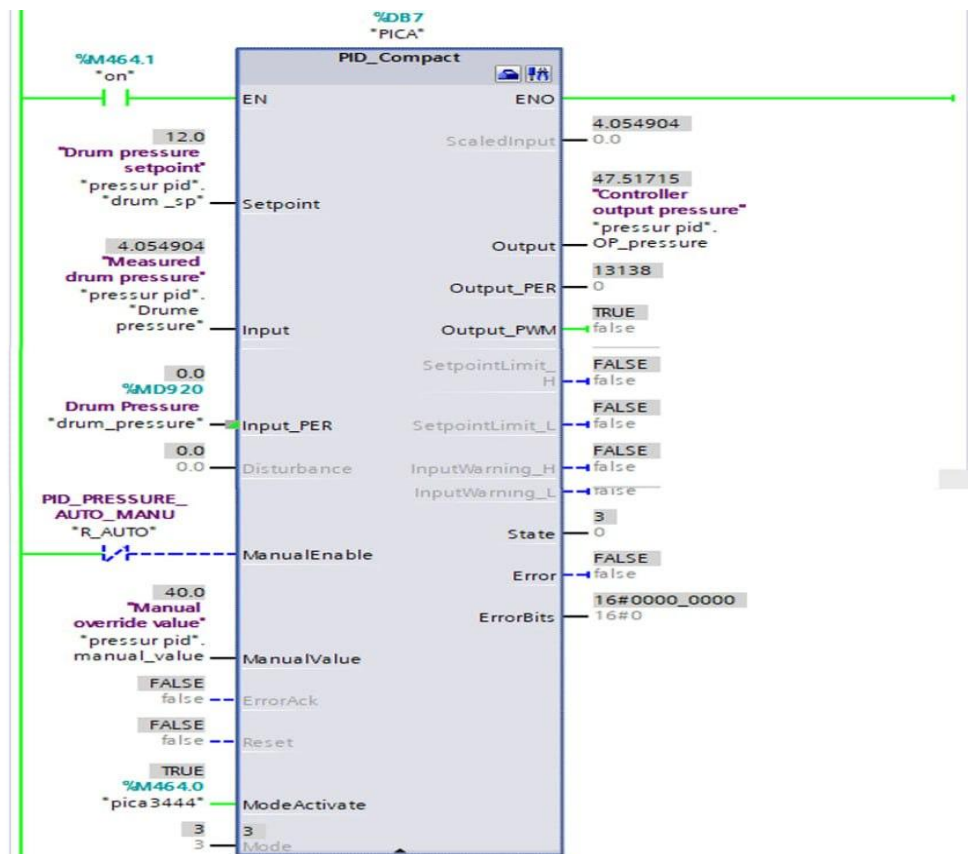


Figure III. 30: Régulateur de pression PICA

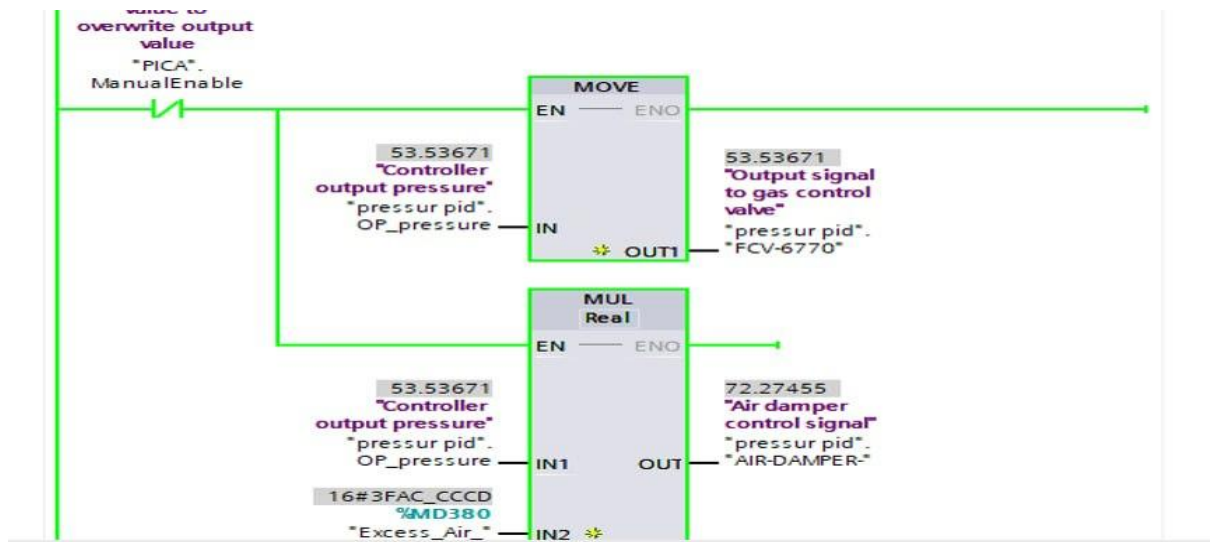


Figure III. 31: sortie de pid vers FCV ET REGISTRE D'AIRE

III.4.2. Régulation de niveaux de ballon supérieur (Boucle LICA)

III.4.2.1. Principe de la Régulation à Deux Éléments

La régulation du niveau d'eau de la chaudière présente une difficulté particulière liée aux phénomènes transitoires de gonflement (swell) et de tassement (shrink). Ces effets, inhérents à la thermodynamique du ballon, rendent la régulation monovariable insuffisante et justifient le recours à une structure de régulation à deux éléments (two-element feedforward control). Dans cette approche, le débit de vapeur produit constitue la variable de prévision (feedforward) : il est mesuré en temps réel (tag Steam_flow) et injecté sur l'entrée perturbation du bloc PID_Compact ("lica"), permettant ainsi d'anticiper les perturbations avant que l'erreur de niveau n'apparaisse. [24]

III.4.2.1.1 Phénomènes de Gonflement et de Tassement

Le phénomène de gonflement (swell) se produit lorsque la demande en vapeur augmente brusquement. La chute soudaine de la pression dans le ballon entraîne une vaporisation rapide de l'eau saturée, provoquant une expansion de la phase gazeuse et une hausse apparente du niveau mesuré. Paradoxalement, le niveau monte alors que le ballon se vide réellement en eau. Sans correction anticipée, un régulateur classique monovariable interpréterait cette hausse comme un excès d'eau et fermerait la vanne d'alimentation, aggravant ainsi le déficit hydrique. À l'inverse, le phénomène de tassement (shrink) apparaît lors d'une baisse soudaine de la demande en vapeur : la pression remonte, les bulles de vapeur se condensent partiellement, et le niveau apparent chute, alors que la quantité d'eau dans le ballon augmente. La régulation à deux éléments pallie ces comportements contre-intuitifs en injectant le signal de débit vapeur

directement dans la loi de commande, de sorte que la vanne d'eau d'alimentation LCV-6670 s'ouvre (respectivement se ferme) de manière préventive dès l'apparition de la perturbation, indépendamment de la réaction de la boucle de rétroaction sur le niveau réel. [24]

III.4.2.2. Mise en Œuvre au programme de LICA

La variable de procédé (PV) est le niveau mesuré dans le ballon (Drum_level), La consigne est issue du tag (level_setpoint). Le signal de sortie du régulateur (level_op) est acheminé vers la vanne LCV-6670 par un bloc MOVE. Le passage en mode manuel est géré par le contact ("LIC_AUTO_").

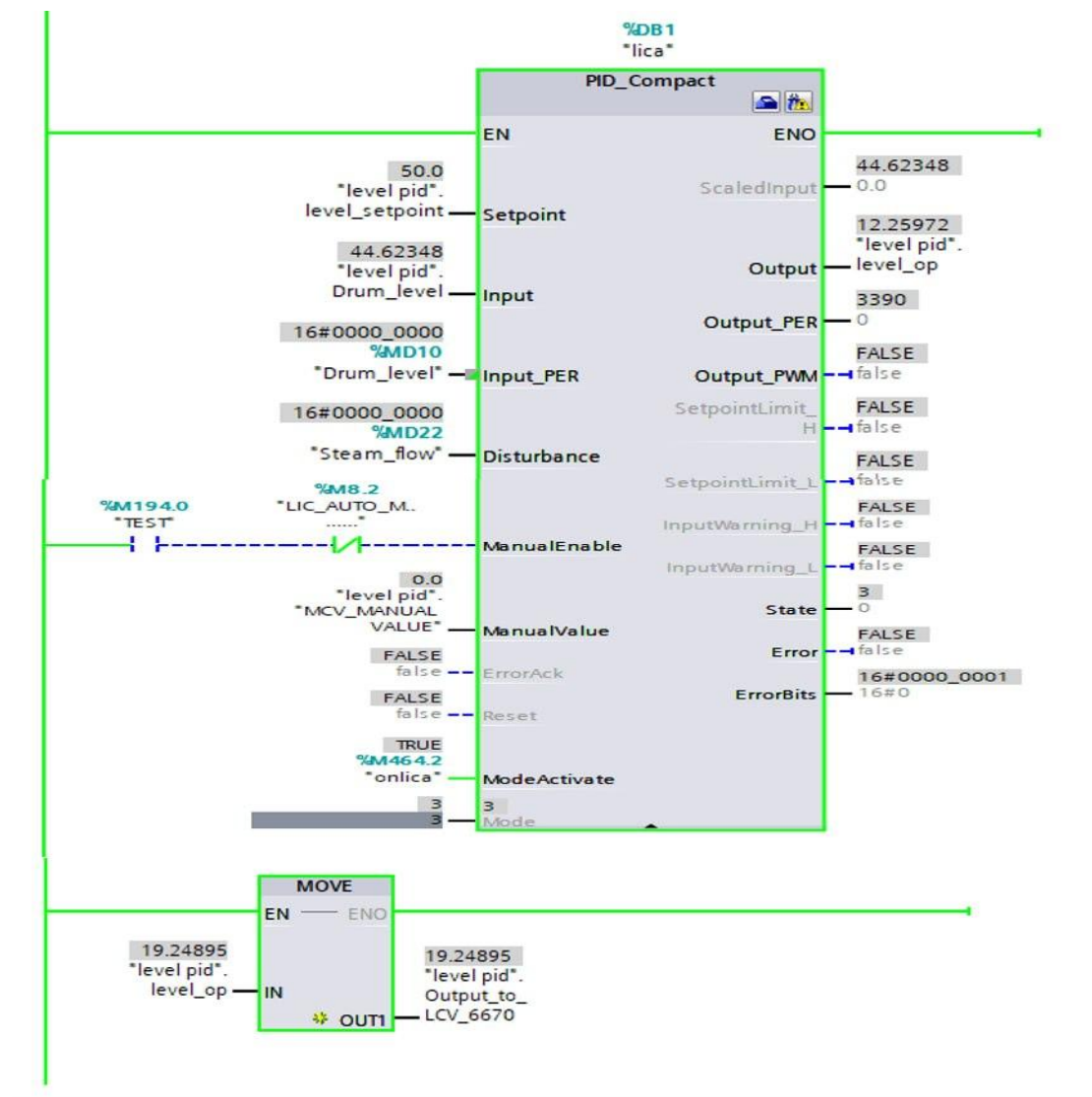


Figure III. 32: Régulateur de niveau LICA

III.4.3. Procédures d'arrêt d'urgence

III.4.3.1. Procédure d'arrêt normal

L'arrêt normal consiste à positionner le sélecteur **SO** sur Arrêt puis sur Diminution pour dépressuriser le ballon, isoler d'abord le circuit gaz naturel après fermeture des vannes XV, puis ouvre la vanne MCV-6770 jusqu'à atteindre 2KGF/cm². L'évent est ensuite ouvert jusqu'à 0 kg/cm², en maintenant le niveau d'eau dans le ballon.

III.4.3.2. Sécurités et arrêts d'urgence

Les protections automatiques déclenchent l'arrêt du brûleur dans les cas suivants : Haute ou basse pression de gaz naturel, perte ou affaiblissement de flamme détecté par le capteur UV, arrêt du ventilateur de combustion, faible débit d'air, haute pression de vapeur dans le tambour, et niveau d'eau bas dans le ballon supérieur. Et assure le refroidissement par le ventilateur (FDF). En cas de tubes rompus : Lorsque les tubes sont rompus, il faut éteindre immédiatement le brûleur et refroidir par le ventilateur de tirage forcé. En cas de risque de blessure par fuite de vapeur, l'eau de la chaudière doit être évacuée par la vanne de purge inférieure.

III.5. Supervision et IHM du système étudié

Lorsque les opérations deviennent plus compliquées et que les équipements et les installations doivent répondre aux critères fonctionnels les plus exigeants, l'opérateur a besoin de plus de transparence. L'interface Homme-Machine (IHM) permet d'atteindre cette transparence, c'est pourquoi nous avons développé pour notre projet un système IHM qui reflète le processus complet.

L'interface homme-machine (IHM) est un dispositif qui permet la communication entre l'opérateur et la machine. Une IHM remplit deux fonctions principales, fournir des informations à l'opérateur et permettre à l'opérateur d'interagir avec le système en entrant des commandes ou des ordres

- **Choix de l'interface homme-machine** : Le choix du Siemens SIMATIC TP1200 Comfort est pleinement justifié pour le projet. Il offre le meilleur rapport fonctionnalités/coût pour cette application, une intégration parfaite avec le PLC S7-1500, et toutes les fonctions nécessaires à la supervision complète d'une chaudière industrielle : affichage synoptique, gestion des alarmes, contrôle des boucles de régulation et supervision des équipements auxiliaires.

III.5.1. Communication API – IHM

La communication entre l'automate programmable industriel (API) et l'interface homme-machine (IHM) repose sur une connexion PROFINET/Industrial Ethernet. Le réseau reliant ces

Chapitre III : Architecture de commande et de supervision du système

deux équipements utilise le protocole PN/IE (PROFINET over Industrial Ethernet), qui garantit un échange de données rapide, fiable et en temps réel.

La connexion entre les deux équipements est identifiée sous le nom HMI_Connection_25, établie via le réseau PN/IE_1. Cette architecture assure une communication cyclique entre le PLC et le panneau HMI, permettant la mise à jour en temps réel des variables de procédé (pression, niveau, débit, état des vannes, alarmes).

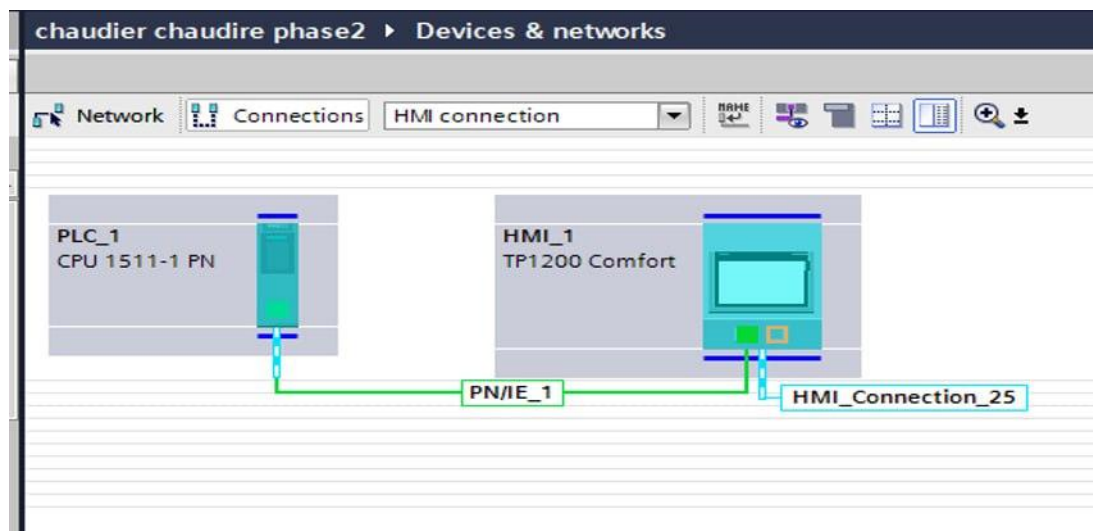


Figure III. 33: liaison entre PLC et IHM

III.5.2. Réseau industriel (Protocole de communication)

Le protocole de communication utilisé dans cette installation est le PROFINET (Process Field Network), un standard industriel basé sur Ethernet développé par Siemens et standardisé par PI (PROFIBUS & PROFINET International).

Caractéristique	Description
Protocole	PROFINET / Industriel Ethernet (PN/IE)
Vitesse de transmission	100 Mbit/s (Fast Ethernet)
Topologie	Étoile / Ligne
Type de communication	Cyclique et acyclique (temps réel)
Norme	IEC 61158 / IEC 61784
Outil de configuration	TIA Portal V16

Tableau III. 5: Protocol de communication

III.5.3. IHM développée sous WinCC (TIA Portal)

III.5.3.1. Les variables utilisées dans l'IHM :

Default tag table						
Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address	
low_level	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	low_level		
LLV	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	LLV		
LIC_MANUAL_VALUE	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	LIC_MANUAL_VALUE		
level data_Output_to_LCV_6670	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"level pid".Output_to_LC...		
level data_MCV_MANUAL VALUE	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"level pid".MCV_MANUA...		
level data_level_setpoint	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"level pid".level_setpoint		
level data_level_op	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"level pid".level_op		
level data_drum_valve_	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"level pid".drum_valve_		
level data_Drum_level	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	"level pid".Drum_level		
HV	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	HL		
HP	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	HP		
HAND_VALVE	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	HAND_VALVE		
Fix_pressure	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	Fix_pressure		
fix level	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"fix level"		
ELCT_VANE	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	ELCT_VANE		
discharge valve	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"discharge valve"		
COS1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	COS1		
chemecal valve	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"chemichal valve"		
ALARMS COLLECTION	Int	<Internal tag>		<Undefined>		
WATER PIPE	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"WATER PIPE"		
VGP2	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	VGP2		
VGP1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	VGP1		
VG2	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	VG2		
VG1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	VG1		
TEST	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	TEST		
Tag_ScreenNumber	UInt	<Internal tag>		<Undefined>		
SPS	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SPS		
soupap_chi	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	soupap_chi		
soupap_ch2	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	soupap_ch2		
SO	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SO		
SF_MAN	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SF_MAN		
SF_AUTO	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SF_AUTO		
RFSG	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	RFSG		
RF	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	RF		
Raise_pressure	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	Raise_pressure		
Raise level	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	"Raise level"		
R_INCRISE	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	R_INCRISE		
R_DECRISE	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	R_DECRISE		
R_AUTO	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	R_AUTO		

Figure III. 34: table des variable IHM

L'interface homme-machine (IHM) de ce projet a été développée sous WinCC intégré dans TIA Portal. Elle est composée de cinq écrans principaux permettant la supervision complète de la chaudière industrielle.

III.5.3.2. Écran 1 — Contrôle Principal (Pression & Niveau)

Cet écran constitue le panneau de contrôle principal de la chaudière. Il est divisé en deux parties fonctionnelles :

- Régulation de pression (Pressure Control) : affichage des valeurs SP (Set point), PV (Process Variable) et OP (Output) avec les modes de commande Auto/Manuel et les boutons Low, Fix, Raise, pour la simulation.
- Régulation de niveau (Level Control) : même structure que le contrôle de pression, avec les valeurs en pourcentage %.
- Commandes de l'interrupteur du brûleur (SO) et de la purge du panneau (COS1).

- Commandes du ventilateur à tirage forcé (Forced Draft Fan) : SF_AUTO, SF_MANU, START, STOP.
- Indicateurs d'état : PRESSURISATION PURGE PANEL, FLAME, MAIN BURNER, WATER SUPPLY.
- Affichage du débit vapeur (steam_flow T/h) et de la position de la vanne MCV_6778(%).
- Boutons pour passer d'un écran à l'autre : ALM_V, LMP_CC, BOILER, CHEMECAL, DSCHG VALVE, SPL VALVE, EMG Shutdown.

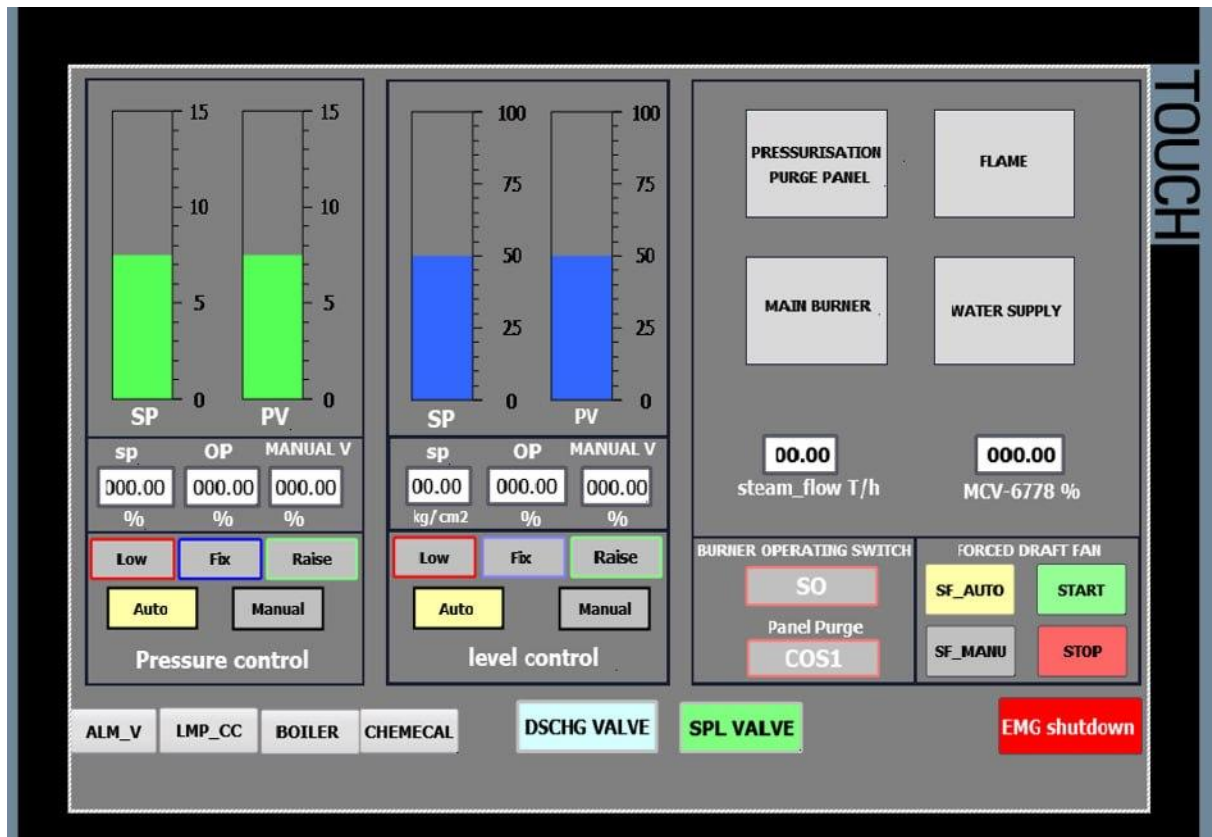


Figure III. 35: Écran -1de Control Principal

III.5.3.3. Écran 2— Synoptique de la Chaudière (Boiler)

Cet écran présente une vue graphique complète du procédé de la chaudière industrielle IHI-SCM-201 GP1Z PHASE 2. Il permet à l'opérateur de visualiser en temps réel l'état de l'ensemble du système. Les éléments représentés sont :

- MAIN STEAM : ligne de vapeur principale avec mesure de débit FST_6770 (T/h).
- Ballon de vapeur avec mesure de niveau LT-6770 et de pression PT-6770 (KGF/cm²).
- MCV_6778 : vanne de contrôle principale avec position en %.
- FCV_6679 : vanne de contrôle du débit de gaz en %.
- NATURAL GAS : réseau gaz naturel avec vannes XVP-6770, XVP-6771, XV-6773, XV-6772 et les vannes de détente PSV_6771, PSV_6770.

- FDF (Forced Draft Fan) : ventilateur à tirage forcé avec indicateur AIR_DUMPER.
- LCV_6770 : vanne de contrôle du niveau d'eau (000.00%).
- FEED WATER : ligne d'eau d'alimentation de la chaudière.
- Navigation vers : LMP_CC, Control, Alarmes, Chemical.

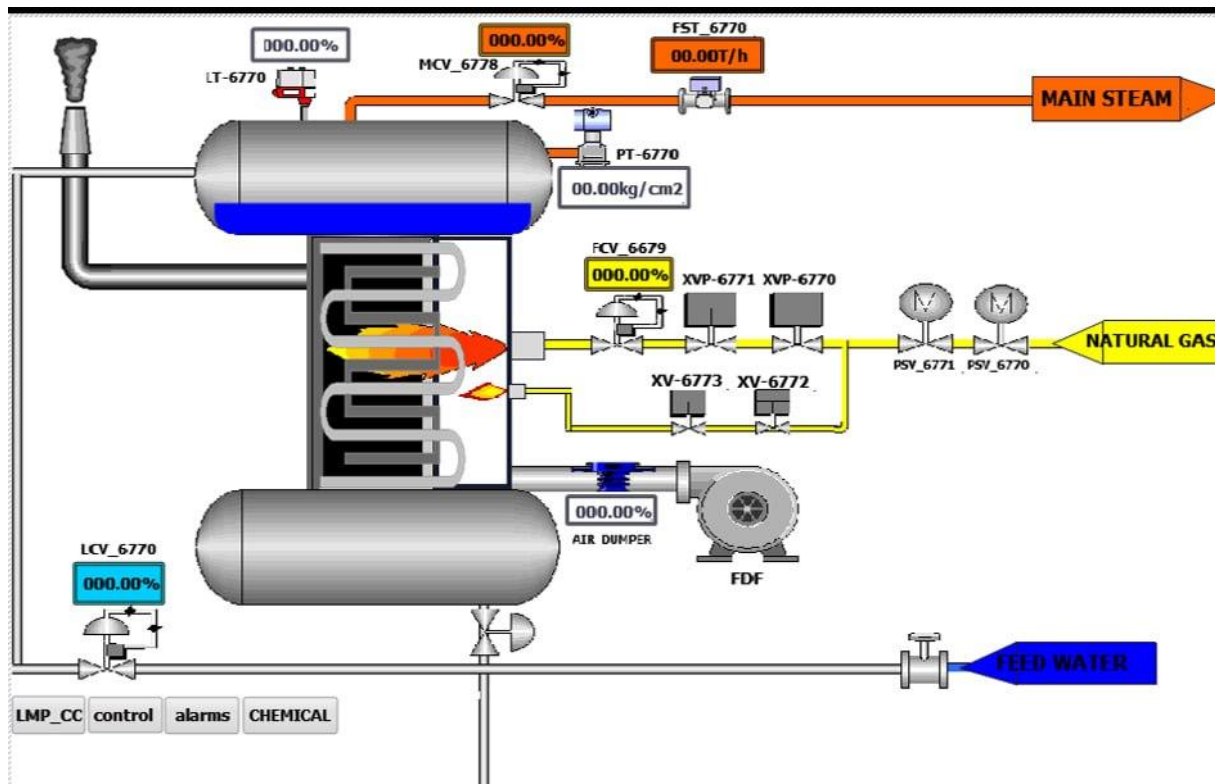


Figure III. 36: Écran-2 Synoptique de la Chaudière (Boiler)

III.5.3.4. Écran 3 — Alarmes et Défauts

Cet écran affiche l'ensemble des alarmes et défauts actifs du système sous forme de boutons indicateurs. Les alarmes surveillées sont regroupées dans le tableau suivant :

Alarme	Description
POWER SUPPLY	Défaut d'alimentation électrique
MAIN BURNER	Défaut du brûleur principal
BLOWING FAN	Défaut du ventilateur soufflant
LOW AIR PRESSURE IN BLOWING FAN	Basse pression d'air dans le ventilateur soufflant
LOW FUEL GAS PRESSURE	Basse pression du gaz combustible
STEAM SUPPLY VALVE OPEN	Vanne d'alimentation vapeur ouverte
LOW INSTRUMENT AIR PRESSURE	Basse pression d'air instrument

FLAME FAILURE	Extinction de flamme
LICA_MANUAL / LICA_AUTO	Contrôleur de niveau (Manuel/Auto)
PICA_MANUAL / PICA_AUTO	Contrôleur de pression (Manuel/Auto)
HIGH DRUM PRESSURE	Haute pression au ballon
VERY LOW WATER LEVEL	Niveau d'eau très bas
HIGH WATER LEVEL	Niveau d'eau haut
LOW WATER LEVEL	Niveau d'eau bas

Tableau III. 6: Table d'identification d'états

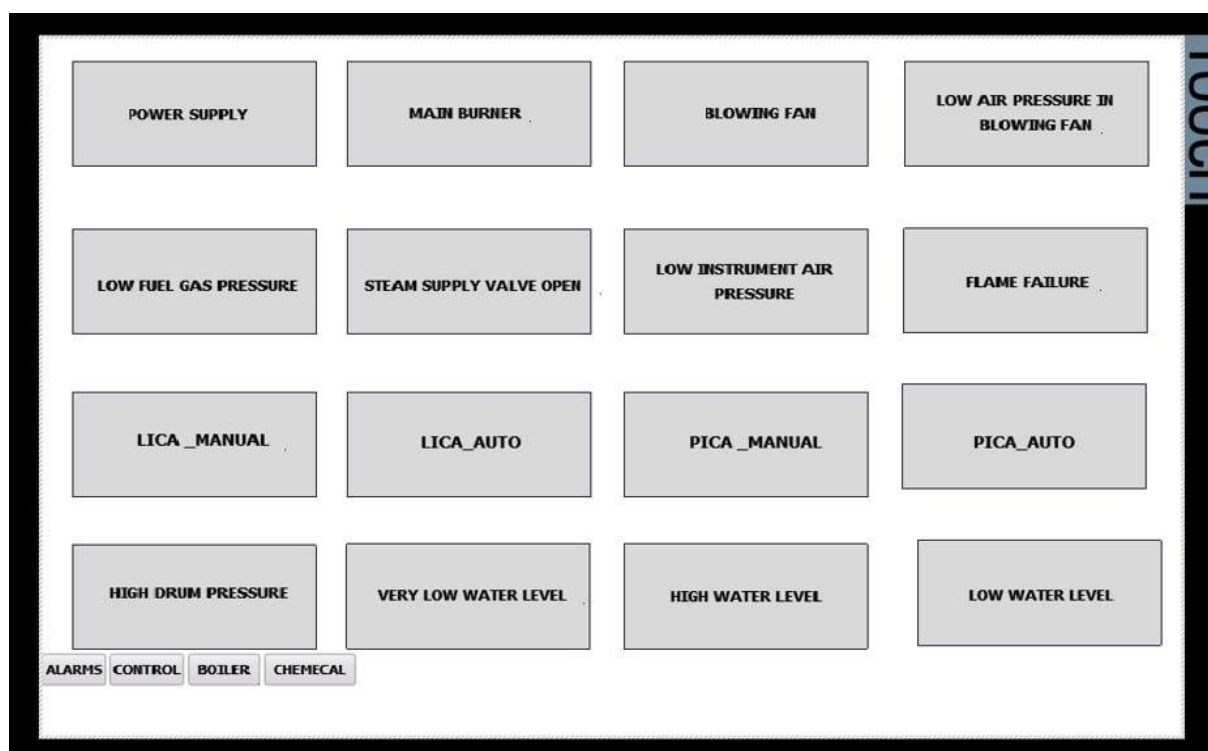


Figure III. 37: Ecran-3 d'identification d'états

III.5.3.5. Écran 4 — Journal des Alarmes

Cet écran affiche l'historique complet des alarmes du système sous forme de tableau avec les colonnes suivantes : No., Time (heure), Date, Statu (état) et Texte (description). Il permet à l'opérateur d'acquitter les alarmes par groupes grâce à bouton d'acquiescement.

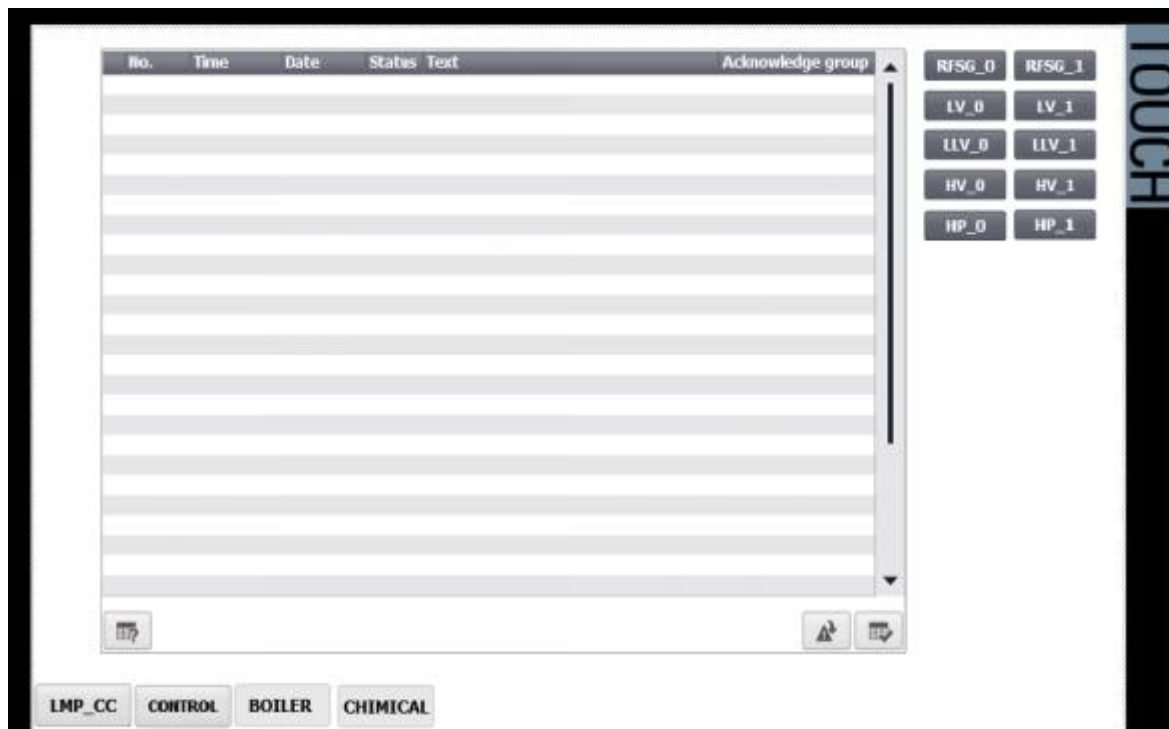


Figure III. 38: Écran-4 Journal des Alarmes.

III.5.3.6. Écran 5 — Supervision des Pompes d'injection des produit chimiques

Cet écran assure la supervision du système de pompage des produit chimique à la chaudière. Il représente graphiquement :

- Un ballon d'eau d'alimentation.
- Quatre pompes P1, P2, P3 et P4 montées en parallèle avec leurs vannes de sectionnement.
- Deux vannes papillon (butterfly valves) pour la sélection du circuit de pompage.
- Une vanne de réglage en sortie (open).
- Boutons de commande des pompes : PB2, PB3, PB4, PB5, PB6.

➤ Produits Chimiques

- Phosphate Trisodique : (Maintien du pH) concentration de 1,5 à 3 g/l dans une tonne d'eau.
- Eliminox : (pour la désoxydation) concentration de 1,5 à 2,5 g/l pour une tonne d'eau.

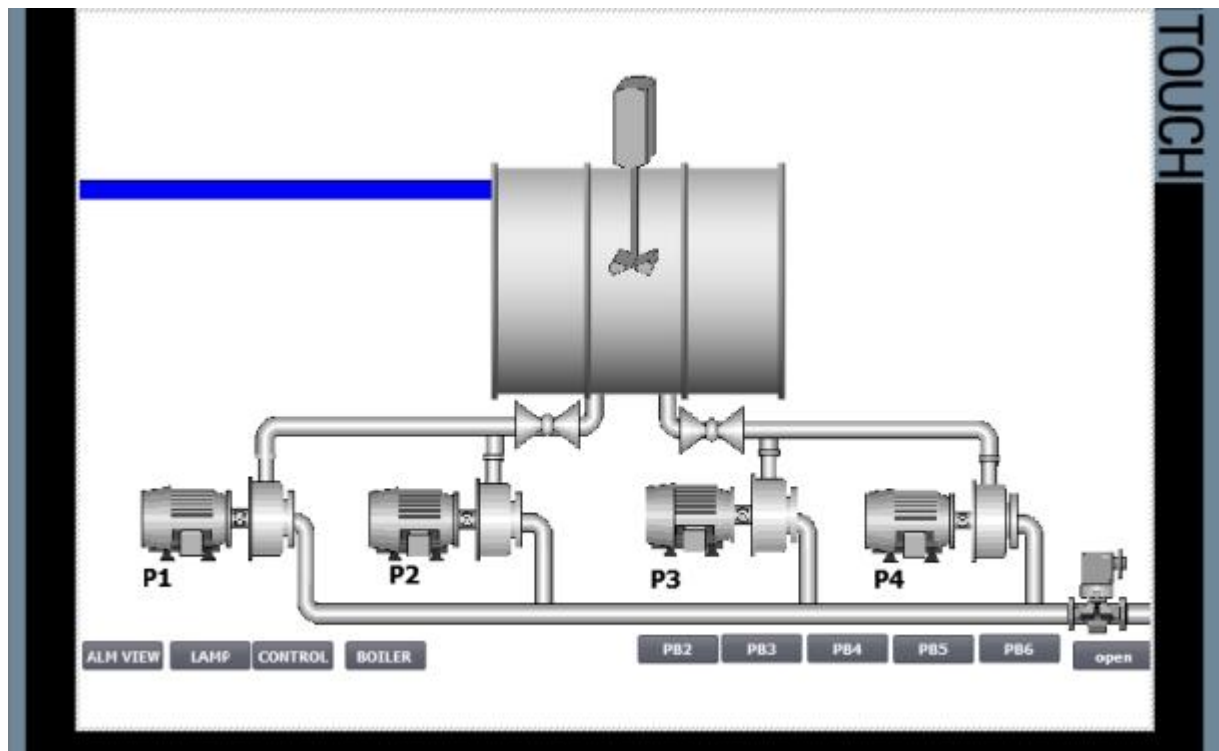


Figure III. 39: : Écran-5 Supervision des Pompes d'injection des produit chimiques

III.6. Discussion des résultats obtenus

III.6.1. Résultats de la programmation de la commande

La programmation de la commande de la chaudière industrielle IHI-SCM-201 GP1Z PHASE 2 sous TIA Portal a permis d'obtenir un système de contrôle robuste et fiable. Les résultats obtenus lors de la phase de développement et de simulation confirment que :

- Le programme de commande développé en langage Ladder (LD) assure correctement le séquençement des opérations de démarrage, de fonctionnement normal et d'arrêt de la chaudière.
- La gestion des sécurités et des défauts fonctionne conformément aux spécifications : toute détection d'anomalie (extinction de flamme, basse pression, niveau critique) déclenche automatiquement les procédures d'arrêt d'urgence.
- Les boucles de régulation PID de pression et de niveau garantissent une stabilité satisfaisante des paramètres de procédé, avec une réponse rapide aux perturbations.

III.6.2. Résultats de la supervision et de l'IHM

L'interface homme-machine développée sous WinCC (TIA Portal) sur le panneau tactile Siemens TP1200 Comfort a démontré les performances suivantes :

- La communication PROFINET entre le PLC S7-1500 (CPU 1511-1 PN) et le panneau IHM fonctionne de manière stable et fiable, avec un échange de données en temps réel sans interruption.

- Les 5 écrans de supervision offrent une vue complète et ergonomique du procédé, permettant à l'opérateur de surveiller et de contrôler l'ensemble des paramètres de la chaudière depuis un seul point.
- Le système de gestion des alarmes permet une détection rapide des anomalies grâce aux 16 alarmes configurées, avec un historique horodaté et un acquittement par groupes.
- Le synoptique animé de la chaudière (Écran 2) reflète fidèlement l'état réel du procédé en temps réel, facilitant la prise de décision de l'opérateur.

III.6.3. Perspectives

➤ Améliorations envisagées

Sur la base des résultats obtenus, plusieurs axes d'amélioration peuvent être envisagés pour les développements futurs :

- Supervision à distance (SCADA) L'intégration d'un système SCADA tel que WinCC SCADA permettrait d'étendre la supervision au-delà du panneau local, en offrant un accès centralisé depuis une salle de contrôle et une gestion multi-sites via navigateur web.
- Amélioration de l'IHM Les évolutions prévues incluent l'ajout de **courbes de tendances** en temps réel, un module de **gestion des recettes** et le développement d'une application mobile pour la supervision à distance.
- Redondance et sécurité fonctionnelle La mise en place d'une architecture redondante (PLC et réseau) et l'intégration d'un système SIS conforme à la norme IEC 61511 renforceront la disponibilité et la sûreté du procédé.
- L'intégration d'une passerelle IIoT connecte la chaudière au cloud industriel pour une collecte et une analyse des données en temps réel. Les algorithmes d'IA permettent une maintenance prédictive en détectant les anomalies avant toute défaillance. Cela réduit les arrêts non planifiés et optimise la disponibilité de l'équipement.

III.7. Conclusion

Ce chapitre a présenté de manière détaillée le travail réalisé dans le cadre de ce projet, portant sur l'automatisation, la programmation de la commande et la supervision de la chaudière industrielle.

Dans un premier temps, la description technique du **système** a permis d'identifier les différents composants de la chaudière, les capteurs et actionneurs utilisés, ainsi que le fonctionnement opérationnel global du procédé.

Ensuite, la programmation de la commande sous TIA Portal a abouti à un programme structuré et fiable, une stratégie de contrôle du gaz a été développée avec des boucles de régulation PID performantes pour le contrôle de la pression et du niveau, ainsi qu'un système de gestion des alarmes assurant la sécurité permanente du procédé.

Enfin, la **supervision et l'IHM** ont été réalisées sous WinCC (TIA Portal) sur un panneau tactile **Siemens TP1200 Comfort**,

Conclusion Générale

Le travail que nous avons effectué au complexe GP1Z de SONATRACH nous a permis de mettre en pratique l'ensemble des connaissances théoriques acquises durant notre formation de master. Cette expérience de terrain nous a offert une immersion concrète dans le monde de l'automatisation industrielle, enrichie par de nombreuses informations techniques et pratiques.

Nous nous sommes familiarisés avec les automates programmables industriels de Siemens, notamment le S7-1500 CPU 1511-1 PN, ainsi qu'avec le panneau tactile TP1200 Comfort, en maîtrisant leur configuration, leur programmation et leur mise en œuvre dans un environnement industriel réel.

Le but de notre travail était de réaliser l'automatisation et la supervision d'une chaudière industrielle à tubes d'eau au sein du complexe GP1Z. Pour ce faire, nous avons développé un programme de commande complet en langage Ladder sous TIA Portal V16, intégrant les boucles de régulation PID de pression et de niveau, la gestion des sécurités et des procédures d'arrêt d'urgence. Pour faciliter le suivi et la visualisation en temps réel du système, nous avons mis en place une solution de supervision complète composée de cinq écrans IHM développés sous WinCC (TIA Portal), communiquant avec l'automate via le protocole PROFINET.

Nous avons conclu de ce projet que la plateforme TIA Portal V16 est un environnement de développement puissant et intégré, qui regroupe la programmation de l'automate, la configuration du réseau et le développement de l'IHM dans un seul outil, permettant une mise en œuvre efficace et cohérente de l'ensemble du système d'automatisation.

Ce projet a été bénéfique à plusieurs égards : il nous a permis d'acquérir un savoir-faire professionnel dans le domaine de l'automatisation des procédés industriels complexes, de maîtriser les outils Siemens de dernière génération, et d'appréhender les différentes étapes d'un projet d'automatisation réel, depuis l'analyse fonctionnelle jusqu'à la mise en service et la supervision.

Nous espérons que ce modeste travail constituera une référence utile pour les promotions à venir et servira de tremplin vers notre vie professionnelle dans le domaine de l'automatisation et du contrôle industriel.

Références bibliographiques

Bibliographie

- [1] M. P. Groover, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, new jersey: Pearson Prentice Hall, 2008.
- [2] K. H. John, IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems, Berlin: Springer, 2010.
- [3] B. m. mohamed, «Etude et conception d'un système automatisé à base d'automate programmable industriel,» Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, oran, 2022.
- [4] m. nehlil, «Automatisation et supervision d'un système de nettoyage en place (NEP) D'une station,» UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, Tizi-ouzou, 2017.
- [5] U. d. S. e. d. l. T. d. M. Boudiaf, «Cours d'automatisme industriel et systèmes de production automatisés,» USTO-MB, oran , 2020.
- [6] S. AG, 15 01 2020. [En ligne]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/110000000/tia-portal-cloud?dti=0&lc=en-DZ>.
- [7] a. sense, «langages de programmation,» 2026. [En ligne]. Available: <https://www.automation-sense.com/pages/les-langages-de-programmations.html>.
- [8] saaqz, «les 7 criteres du choix du automate programmable,» scribd.com, 14 jan 2021. [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/490698776/LES-7-CRITERES-DU-CHOIX-DU-AUTOMATE-PROGRAMMABLE>.
- [9] R. mahjoub, «espace technologie,» 2015. [En ligne]. Available: https://www.espacetechnologie.com/wp-content/uploads/2020/04/Support-de-formation_TIA_Portal_WCC.pdf.
- [10] m. Boudjemline, «scribd.com,» 31 juillet 2021. [En ligne]. Available: <https://www.scribd.com/document/517045765/Rapport>.
- [11] L. m. salah, «Supervision en temps réel d'un procédé industriel basé sur,» UNIVERSITÉ KASDI MERBAH - OUARGLA, Ouargla, 2022.
- [12] M. d. Piave, «ADF WEB,» ADFWEB.COM, 2021. [En ligne]. Available: https://www.adfweb.com/home/products/Profibus_to_serial.asp.

Références Bibliographiques

- [13] S. IT, «Principe de la supervision,» 2012. [En ligne]. Available: <https://supervisionit.canalblog.com/archives/2012/03/16/23773881.html..>
- [14] Fortinet, «fortinet.com,» 2026. [En ligne]. Available: <https://www.fortinet.com/fr/resources/cyberglossary/scada-and-scada-systems>.
- [15] m. bendahmane, «Développement d'interfaces IHM avec WinCC Flexible et TIA Portal,» oran , 2022.
- [16] S. ag, 2020. [En ligne]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109820606/accès-à-distance-à-wincc-unified-pc-runtime-et-unified>.
- [17] B. i. p. d. c. gp1z, «scribd.com,» 27 10 2021. [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/535554902/memoire-M2-GC>.
- [18] Sonatrach, «Complexe GP1Z Liquifaction Separation,» Complexe GP1Z Liquifaction Separation, 2020. [En ligne]. Available: <https://sonatrach.com/fr/liquifaction-separation/complexe-gp1z/>.
- [19] cenosco, «L'importance de l'API 580 dans l'industrie pétrolière et gazière,» 22 03 2024. [En ligne]. Available: <https://cenosco.com/fr/insights/api-580-in-the-oil-and-gas-industry>.
- [20] O. A. d'Accréditation, «Accréditation des laboratoires ISO CEI 17025,» algerac.dz, 2005. [En ligne]. Available: <https://algerac.dz/>.
- [21] a. ferhat, «L'étude d'un système instrumenté de sécurité au niveau du complexe GP1/Z,» Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed IMSI, oran, 2019.
- [22] b. mohamed, «Etude préventive sur la corrosion des chaudières au niveau du complexe GP1/Z,» Université 8 Mai 1945 Guelma, Guelma , 2022.
- [23] N. kr, «Chaudière à tubes d'eau fonctionnement,» scribd.com, 28 02 2024. [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/704545370/016992267290-2chaudiere>.
- [24] H. g. Instrument, «Two Element Boiler Drum Level Control,» 2012. [En ligne]. Available: <https://www.hanang-instrument.com/images/stories/pdf/Boiler/2-Element%20Boiler%20Control.pdf>.

ANNEXE

Annexe I : Ancien panneau de contrôle



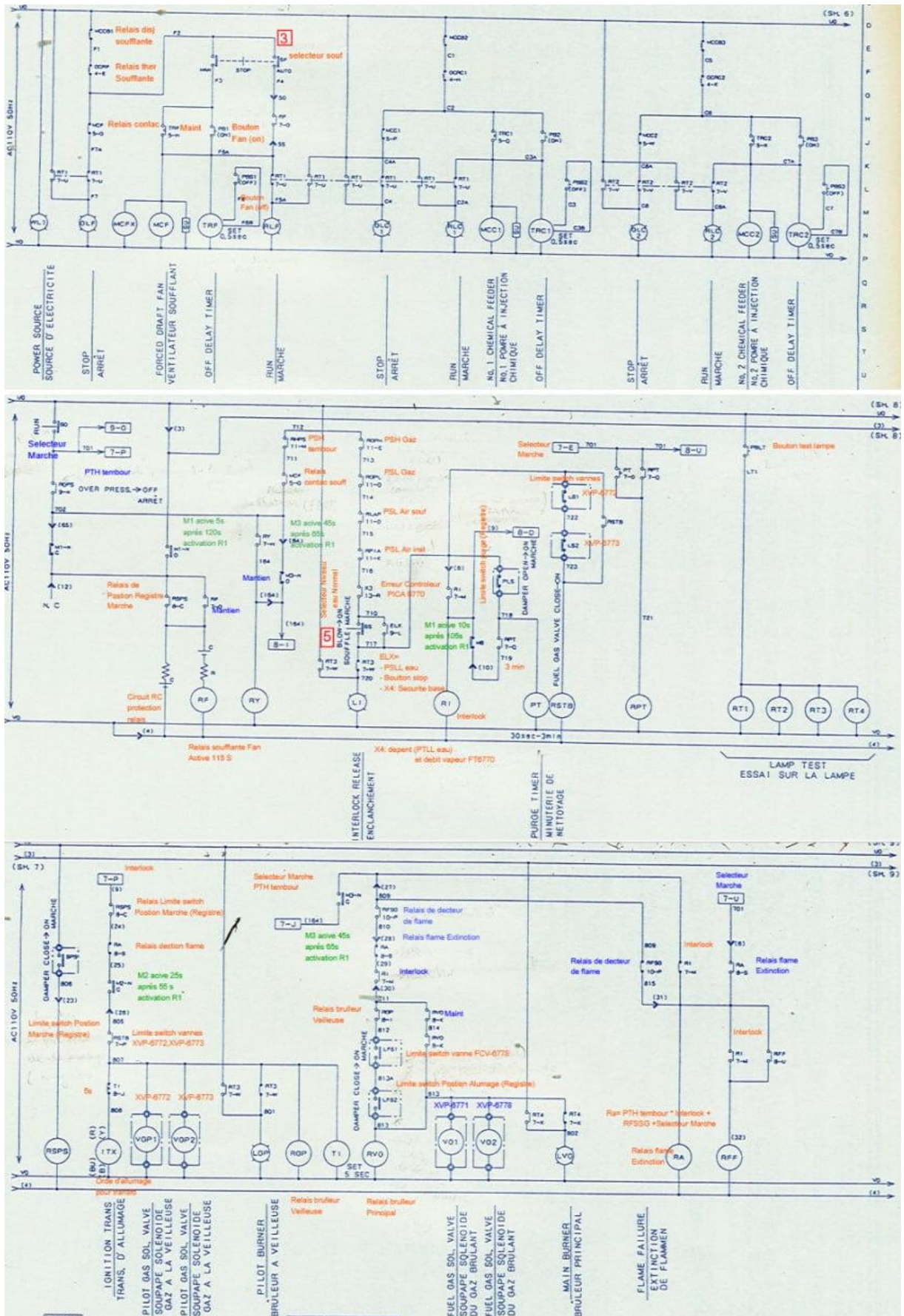
Annexe II : Table des Variables

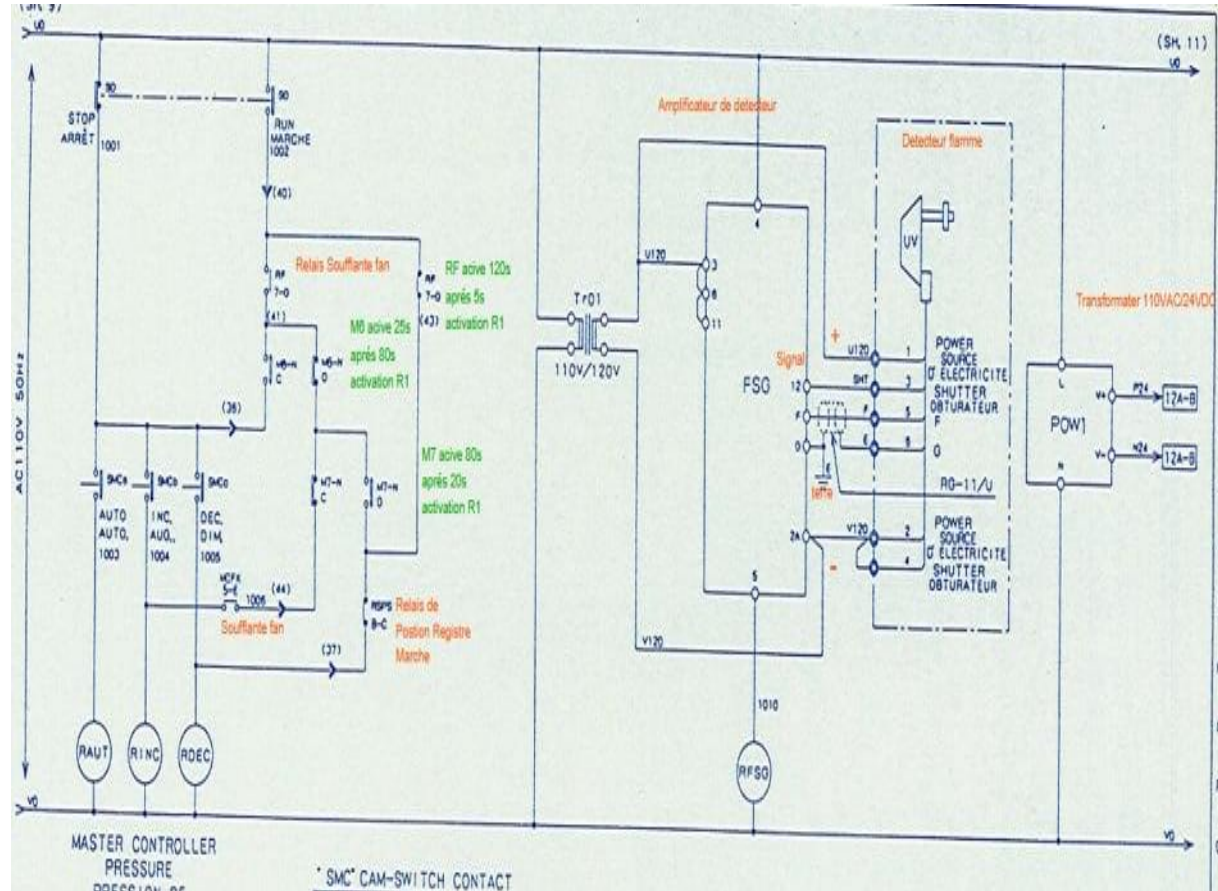
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Sup...	Comment
24	VGP1	Default ta...	Bool	%Q18.7	☐	☒	☒	☒		Pilot Gas Sol Valve XV-6772
25	VGP2	Default ta...	Bool	%Q19.0	☐	☒	☒	☒		Pilot Gas Sol Valve XV-6773
26	LGP	Default ta...	Bool	%Q19.1	☐	☒	☒	☒		Pilot burner lampe
27	VG1	Default ta...	Bool	%Q19.2	☐	☒	☒	☒		Burner fuel gas sol valve XV-6770
28	VG2	Default ta...	Bool	%Q19.3	☐	☒	☒	☒		Burner fuel gas sol valve XV-6771
29	LVO	Default ta...	Bool	%Q19.4	☐	☒	☒	☒		Main Burner lampe
30	RAA	Default ta...	Bool	%Q19.5	☐	☒	☒	☒		Trip Relay to MCR
31	BZ_2	Default ta...	Bool	%Q19.6	☐	☒	☒	☒		Buzzer
32	VFP	Default ta...	Bool	%Q19.7	☐	☒	☒	☒		Steam Flow control valve
33	ALRS	Default ta...	Bool	%Q20.0	☐	☒	☒	☒		Steam Flow control valve lampe indication
34	OL1	Default ta...	Bool	%Q20.1	☐	☒	☒	☒		FDF Trip Lampe Lampe
35	OL2	Default ta...	Bool	%Q20.2	☐	☒	☒	☒		FDF Air Low Pressure Lampe
36	OL3	Default ta...	Bool	%Q20.3	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas High pressure Lampe
37	OL4	Default ta...	Bool	%Q20.4	☐	☒	☒	☒		Pilot Gas Low pressure Lampe
38	OL5	Default ta...	Bool	%Q20.5	☐	☒	☒	☒		Pilot Gas Low pressure Lampe
39	OL6	Default ta...	Bool	%Q20.6	☐	☒	☒	☒		Instrument Air Low Pressure Lampe
40	OL7	Default ta...	Bool	%Q20.7	☐	☒	☒	☒		Flame Failure Lampe
41	OL8	Default ta...	Bool	%Q21.0	☐	☒	☒	☒		Drum High Pressure Lampe
42	OL9	Default ta...	Bool	%Q21.1	☐	☒	☒	☒		Extreme Low Water level Lampe
43	OL10	Default ta...	Bool	%Q21.2	☐	☒	☒	☒		High Water Level Indication Lampe
44	OL11	Default ta...	Bool	%Q21.3	☐	☒	☒	☒		Low Water Level Indication Lampe
45	OL12	Default ta...	Bool	%Q21.4	☐	☒	☒	☒		Spare
46	OL13	Default ta...	Bool	%Q21.5	☐	☒	☒	☒		Spare
47	OL14	Default ta...	Bool	%Q21.6	☐	☒	☒	☒		PICA-6770 ERROR Lampe
48	COS1	Default ta...	Bool	%M90.0	☐	☒	☒	☒		Main selector 110 AC
49	PS1	Default ta...	Bool	%M90.1	☐	☒	☒	☒		Pressure High Switch 300mmAg
50	PS2	Default ta...	Bool	%M90.3	☐	☒	☒	☒		Pressure High Switch 30mmAg
51	BS01	Default ta...	Bool	%M90.4	☐	☒	☒	☒		Push Button Power Source ON
52	BS02	Default ta...	Bool	%M90.5	☐	☒	☒	☒		Push Button Power Source OFF
53	PB1	Default ta...	Bool	%M90.6	☐	☒	☒	☒		Fan start Button
54	MCCB1	Default ta...	Bool	%I16.6	☐	☒	☒	☒		Forced Draft Fan (CB)
55	MCCB2	Default ta...	Bool	%I16.7	☐	☒	☒	☒		Chemical feeder pompe No. 1 (CB)
56	MCCB3	Default ta...	Bool	%I17.0	☐	☒	☒	☒		Chemical feeder pompe No. 2 (CB)
57	MCCB4	Default ta...	Bool	%I17.1	☐	☒	☒	☒		Chemical feeder pompe No. 3 (CB)
58	MCCB5	Default ta...	Bool	%I17.2	☐	☒	☒	☒		Chemical feeder pompe No. 4 (CB)
59	MCCB6	Default ta...	Bool	%I17.3	☐	☒	☒	☒		Agitator for Chemical products (CB)
60	OCRF	Default ta...	Bool	%I17.4	☐	☒	☒	☒		Over courant relay Fan
61	OCRC1	Default ta...	Bool	%I17.5	☐	☒	☒	☒		Over courant relay chemical pump No. 1
62	OCRC2	Default ta...	Bool	%I17.6	☐	☒	☒	☒		Over courant relay chemical pump No. 2
63	OCRC3	Default ta...	Bool	%I17.7	☐	☒	☒	☒		Over courant relay chemical pump No. 3
64	OCRC4	Default ta...	Bool	%I18.0	☐	☒	☒	☒		Over courant relay chemical pump No. 4
65	OCRC5	Default ta...	Bool	%I18.1	☐	☒	☒	☒		Over courant relay Agitator
66	SF_MAN	Default ta...	Bool	%M90.7	☐	☒	☒	☒		Fan mode selector (MAN)
67	PBS1	Default ta...	Bool	%M91.0	☐	☒	☒	☒		Fan stop Button
68	PB2	Default ta...	Bool	%M91.1	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 1 START Button
69	PBS2	Default ta...	Bool	%M91.2	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 1 STOP Button
70	PB3	Default ta...	Bool	%M91.3	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 2 START Button
71	PBS3	Default ta...	Bool	%M91.4	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 2 STOP Button
72	PB4	Default ta...	Bool	%M91.5	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 3 START Button
73	PBS4	Default ta...	Bool	%M91.6	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 3 STOP Button
86	LFS1_LFS2	Default ta...	Bool	%M93.3	☐	☒	☒	☒		Low Fire Switch damper Postion
87	PBR5	Default ta...	Bool	%M93.4	☐	☒	☒	☒		Push Button Reset
88	SMC_AUTO	Default ta...	Bool	%M93.5	☐	☒	☒	☒		Master Controller Selector (AUTO)
89	LAP	Default ta...	Bool	%M93.6	☐	☒	☒	☒		Air Low Pressure switch
90	BHW	Default ta...	Bool	%M93.7	☐	☒	☒	☒		Water High Level drum Switch
91	BWL	Default ta...	Bool	%M94.0	☐	☒	☒	☒		Water Low Level drum Switch
92	BEL	Default ta...	Bool	%M94.1	☐	☒	☒	☒		Water Extreme Low Level drum Switch
93	PBBS	Default ta...	Bool	%M94.2	☐	☒	☒	☒		Push Button Buzzer Stop
94	PS-6773	Default ta...	Bool	%M94.3	☐	☒	☒	☒		Steam Drum Emerg High Press Switch
95	PS-6774	Default ta...	Bool	%M94.4	☐	☒	☒	☒		Instrument air Low press switch
96	PGL	Default ta...	Bool	%M94.5	☐	☒	☒	☒		Pilot Low Gas Pressure switch
97	PT-6770	Default ta...	Int	%IW0	☐	☒	☒	☒		Drum Pressure Transmitter
98	LT-6770	Default ta...	Word	%IW2	☐	☒	☒	☒		Drum Level Transmitter
99	FST-6770	Default ta...	Word	%IW4	☐	☒	☒	☒		Steam Flow Transmitter
100	PTL-6770	Default ta...	Int	%IW6	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas Pressure Low Transmitter
101	PTH-6770	Default ta...	Int	%IW8	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas Pressure High Transmitter
102	FVC-6770	Default ta...	Int	%QW0	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas Control Valve
103	AIR-DAMPER	Default ta...	Int	%QW6	☐	☒	☒	☒		Air Damper
104	LVS-6770	Default ta...	DWord	%QD4	☐	☒	☒	☒		
105	MCV-6770	Default ta...	DWord	%MD8	☐	☒	☒	☒		Steam Supply Control Valve
106	R6	Default ta...	Bool	%Q21.7	☐	☒	☒	☒		Purge Failure Relay
107	SL01	Default ta...	Bool	%Q22.0	☐	☒	☒	☒		Cleaning lampe
108	SL02	Default ta...	Bool	%Q22.1	☐	☒	☒	☒		Cleaning Complete Lampe
109	SL03	Default ta...	Bool	%Q22.2	☐	☒	☒	☒		Purge Failure Lampe
110	R1	Default ta...	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒		Pressure High Relay

Annexe II : Table des Variables

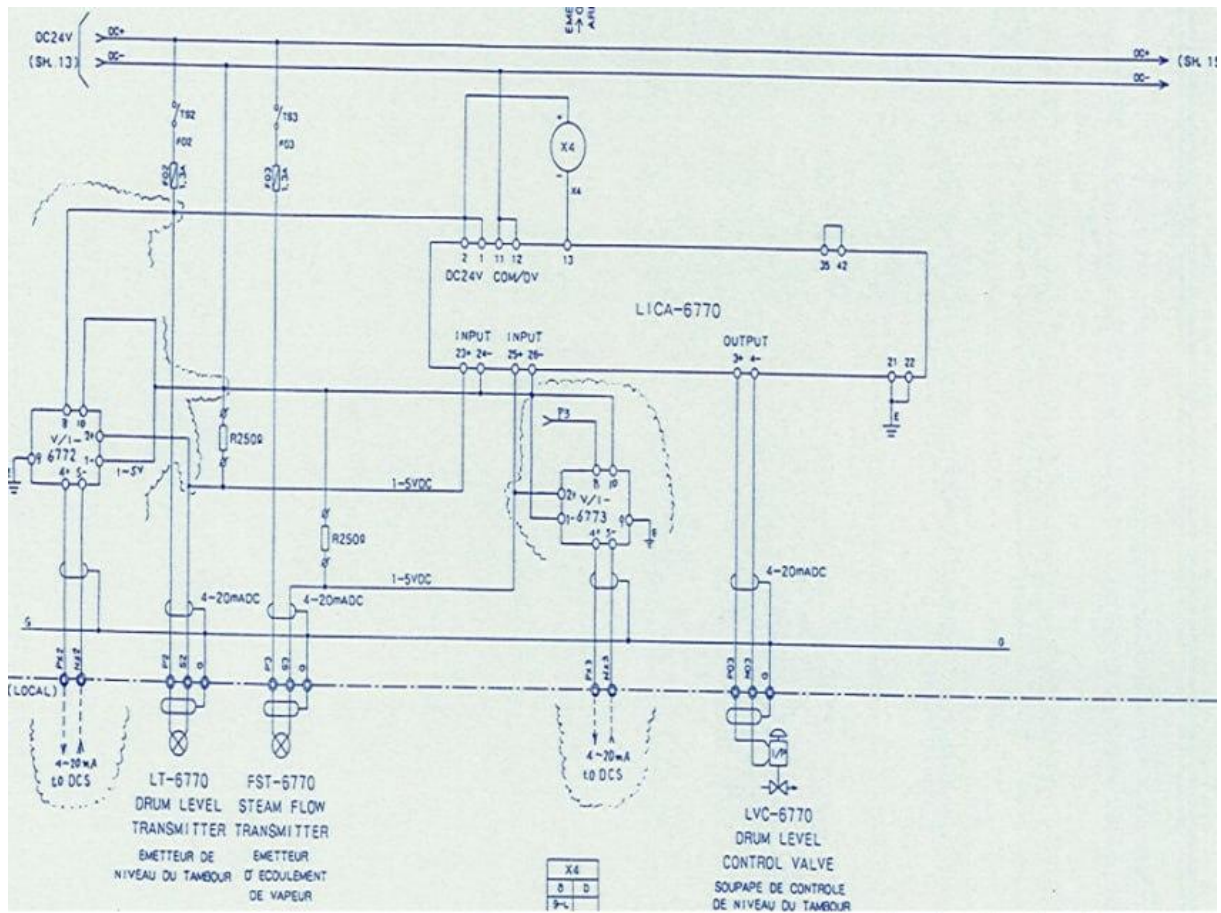
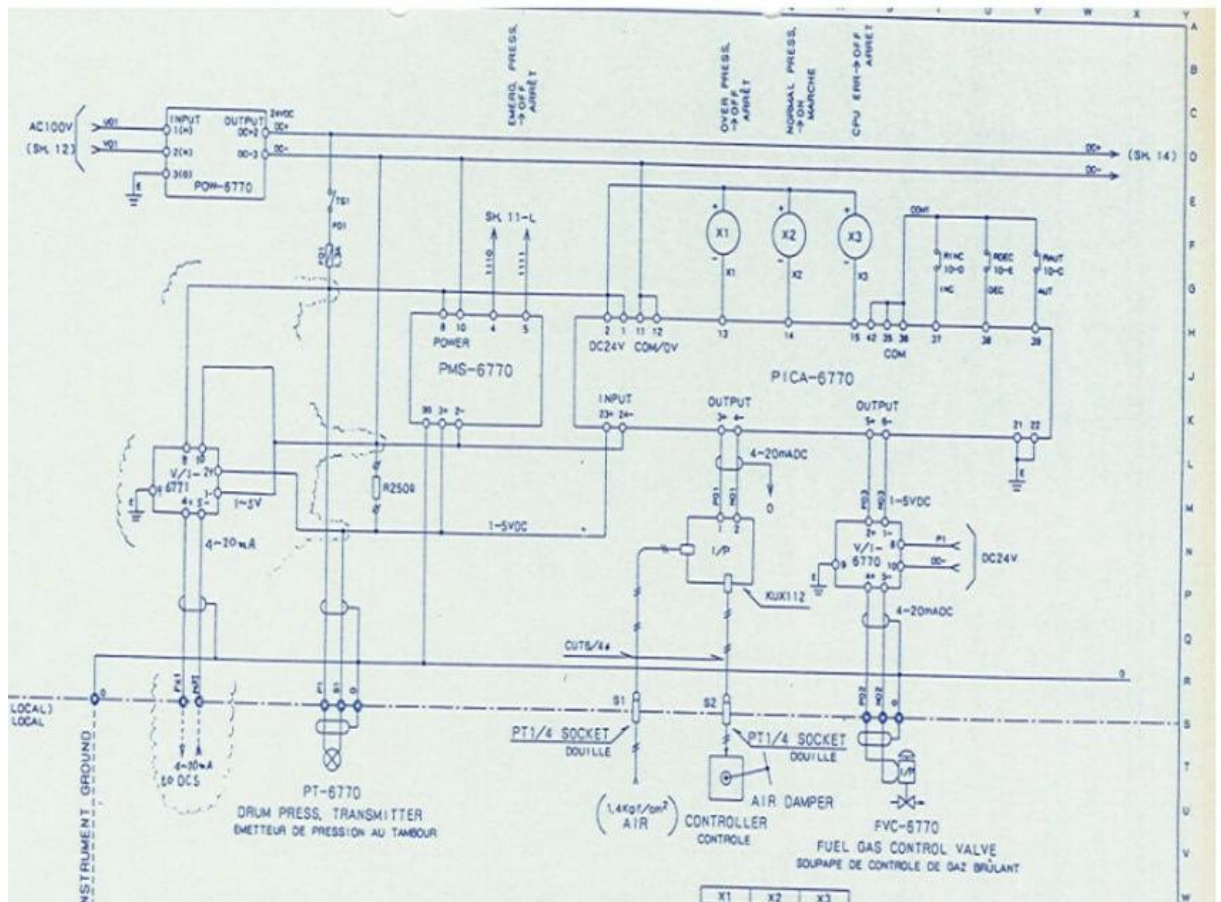
	Name ▲	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Sup...	Comment
111	NEEDED_Timer	DWord	%MD90	☐	☒	☒	☒		
112	NEGATIVE EDGE _RI	Bool	%M56.3	☐	☒	☒	☒		
113	NEGATIVE RI_1	Bool	%M126.1	☐	☒	☒	☒		
114	NO_ALARMS	Bool	%I23.2	☐	☒	☒	☒		Healthy state
115	OCRC1	Bool	%I17.5	☐	☒	☒	☒		Over courant relay chemical pump No. 1
116	OCRC2	Bool	%I17.6	☐	☒	☒	☒		Over courant relay chemical pump No. 2
117	OCRC3	Bool	%I17.7	☐	☒	☒	☒		Over courant relay chemical pump No. 3
118	OCRC4	Bool	%I18.0	☐	☒	☒	☒		Over courant relay chemical pump No. 4
119	OCRC5	Bool	%I18.1	☐	☒	☒	☒		Over courant relay Agitator
120	OCRF	Bool	%I17.4	☐	☒	☒	☒		Over courant relay Fan
121	OL1	Bool	%Q20.1	☐	☒	☒	☒		FDF Trip Lampe Lampe
122	OL10	Bool	%Q21.2	☐	☒	☒	☒		High Water Level Indication Lampe
123	OL11	Bool	%Q21.3	☐	☒	☒	☒		Low Water Level Indication Lampe
124	OL12	Bool	%Q21.4	☐	☒	☒	☒		Spare
125	OL13	Bool	%Q21.5	☐	☒	☒	☒		Spare
126	OL14	Bool	%Q21.6	☐	☒	☒	☒		PICA-6770 ERROR Lampe
127	OL2	Bool	%Q20.2	☐	☒	☒	☒		FDF Air Low Pressure Lampe
128	OL3	Bool	%Q20.3	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas High pressure Lampe
129	OL4	Bool	%Q20.4	☐	☒	☒	☒		Pilot Gas Low pressure Lampe
130	OL5	Bool	%Q20.5	☐	☒	☒	☒		Pilot Gas Low pressure Lampe
131	OL6	Bool	%Q20.6	☐	☒	☒	☒		Instrument Air Low Pressure Lampe
132	OL7	Bool	%Q20.7	☐	☒	☒	☒		Flame Failure Lampe
133	OL8	Bool	%Q21.0	☐	☒	☒	☒		Drum High Pressure Lampe
134	OL9	Bool	%Q21.1	☐	☒	☒	☒		Extreme Low Water Level Lampe
136	onlica	Bool	%M464.2	☐	☒	☒	☒		
137	open discharge valve	Bool	%M468.2	☐	☒	☒	☒		Hmi_bottun_to open discharge valve
138	open valve	Bool	%M26.0	☐	☒	☒	☒		Hmi_bottun_to open feed water valve
139	Output_to_LCV_6670	Real	%MD198	☐	☒	☒	☒		output to LCV 6770
140	OUTPUT_TO_LEVE.....	DWord	%MD30	☐	☒	☒	☒		
141	P_RI	Bool	%M7.1	☐	☒	☒	☒		Pre_Interlock
142	PB1	Bool	%M90.6	☐	☒	☒	☒		Fan start Button
143	PB2	Bool	%M91.1	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 1 START Button
144	PB3	Bool	%M91.3	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 2 START Button
145	PB4	Bool	%M91.5	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 3 START Button
146	PB5	Bool	%M91.7	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 4 START Button
147	PB6	Bool	%M92.1	☐	☒	☒	☒		Agitator START Button
148	PBBS	Bool	%M94.2	☐	☒	☒	☒		Push Button Buzzer Stop
149	PBLR	Bool	%M98.1	☐	☒	☒	☒		LAMP_Reset
150	PBLT	Bool	%M93.0	☐	☒	☒	☒		Push button lampe test
151	PBRS	Bool	%M93.4	☐	☒	☒	☒		Push Button Reset
152	PBS1	Bool	%M91.0	☐	☒	☒	☒		Fan stop Button
153	PBS2	Bool	%M91.2	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 1 STOP Button
154	PBS3	Bool	%M91.4	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 2 STOP Button
155	PBS4	Bool	%M91.6	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 3 STOP Button
156	PBS5	Bool	%M92.0	☐	☒	☒	☒		Chemical pump No. 4 STOP Button
157	PBS6	Bool	%M92.2	☐	☒	☒	☒		Agitator STOP Button
158	PGL	Bool	%M94.5	☐	☒	☒	☒		Pilot Low Gas Pressure switch
159	PIA-6770	Bool	%M4.2	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas High Pressure PTH-6770
159	PIA-6770	Bool	%M4.2	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas High Pressure PTH-6770
160	PIA-6771	Bool	%M4.3	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas Low Pressure PTL-6771
161	PICA MANUAL UNABEL	DWord	%MD190	☐	☒	☒	☒		PIC Mode Auto/Manu
162	PICA_AUTO	Bool	%M54.0	☐	☒	☒	☒		
163	pica3444	Bool	%M464.0	☐	☒	☒	☒		
164	PLS	Bool	%M92.5	☐	☒	☒	☒		Demper Purge Limit switch Position Full O...
165	PM5-6770	Bool	%M8.1	☐	☒	☒	☒		Pressure Monitor Switch
166	PS1	Bool	%M90.1	☐	☒	☒	☒		Pressure High Switch 300mmAg
167	PS2	Bool	%M90.3	☐	☒	☒	☒		Pressure High Switch 30mmAg
168	PS-6773	Bool	%M94.3	☐	☒	☒	☒		Steam Drum Emerg High Press Switch
169	PS-6774	Bool	%M94.4	☐	☒	☒	☒		Instrument air Low press switch
170	PT	Bool	%M2.6	☐	☒	☒	☒		PURGE TIME 3MIN
171	PT-6770	Int	%IW0	☐	☒	☒	☒		Drum Pressure Transmitter
172	PTH-6770	Int	%IW8	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas Pressure High Transmitter
173	PTL-6770	Int	%IW6	☐	☒	☒	☒		Fuel Gas Pressure Low Transmitter
174	R_AUTO	Bool	%M44.0	☐	☒	☒	☒		PID_PRESSURE_AUTO_MANU
175	R_DECRSE	Bool	%M924.0	☐	☒	☒	☒		AIR_DUMPER_Decrease Relay
176	R_INCRSE	Bool	%M924.1	☐	☒	☒	☒		AIR_DUMPER_Increase Relay
177	R1	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒		Pressure High Relay
178	R2	Bool	%M0.1	☐	☒	☒	☒		Purge complet relay
179	R3	Bool	%M0.2	☐	☒	☒	☒		Power source OFF relay
180	R4	Bool	%M0.3	☐	☒	☒	☒		Buzzer reset relay
181	R5	Bool	%M0.4	☐	☒	☒	☒		Power source OFF relay(for purge failure)
182	R6	Bool	%Q21.7	☐	☒	☒	☒		Purge Failure Relay

Annexe III : Schéma de contrôle

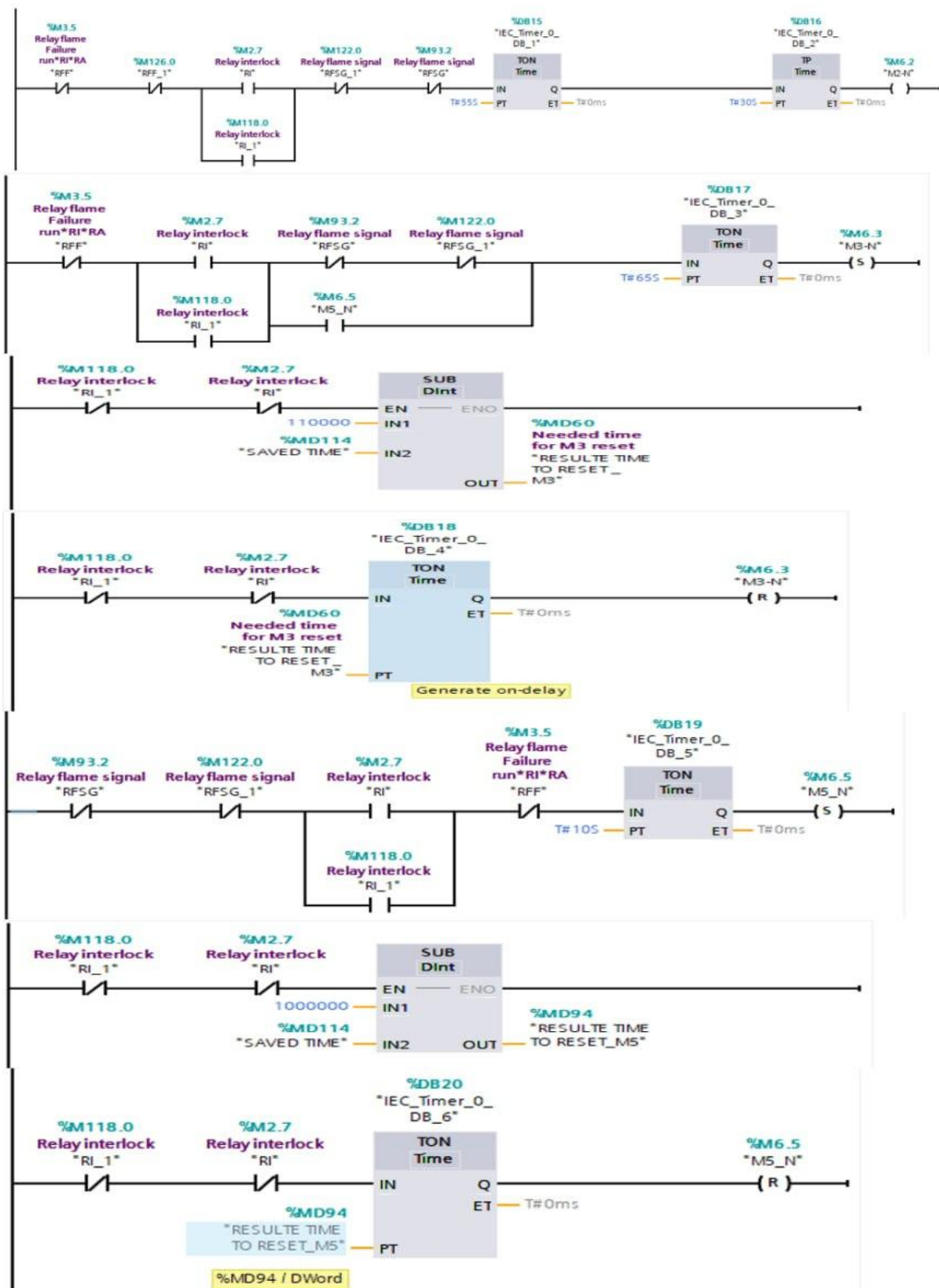




Annexe IV : Les Régulateurs PICA, LICA



Annexe V : Programme des contacts Mn



Annexe VI : [FC2] Pressurisation du panneau de contrôle

